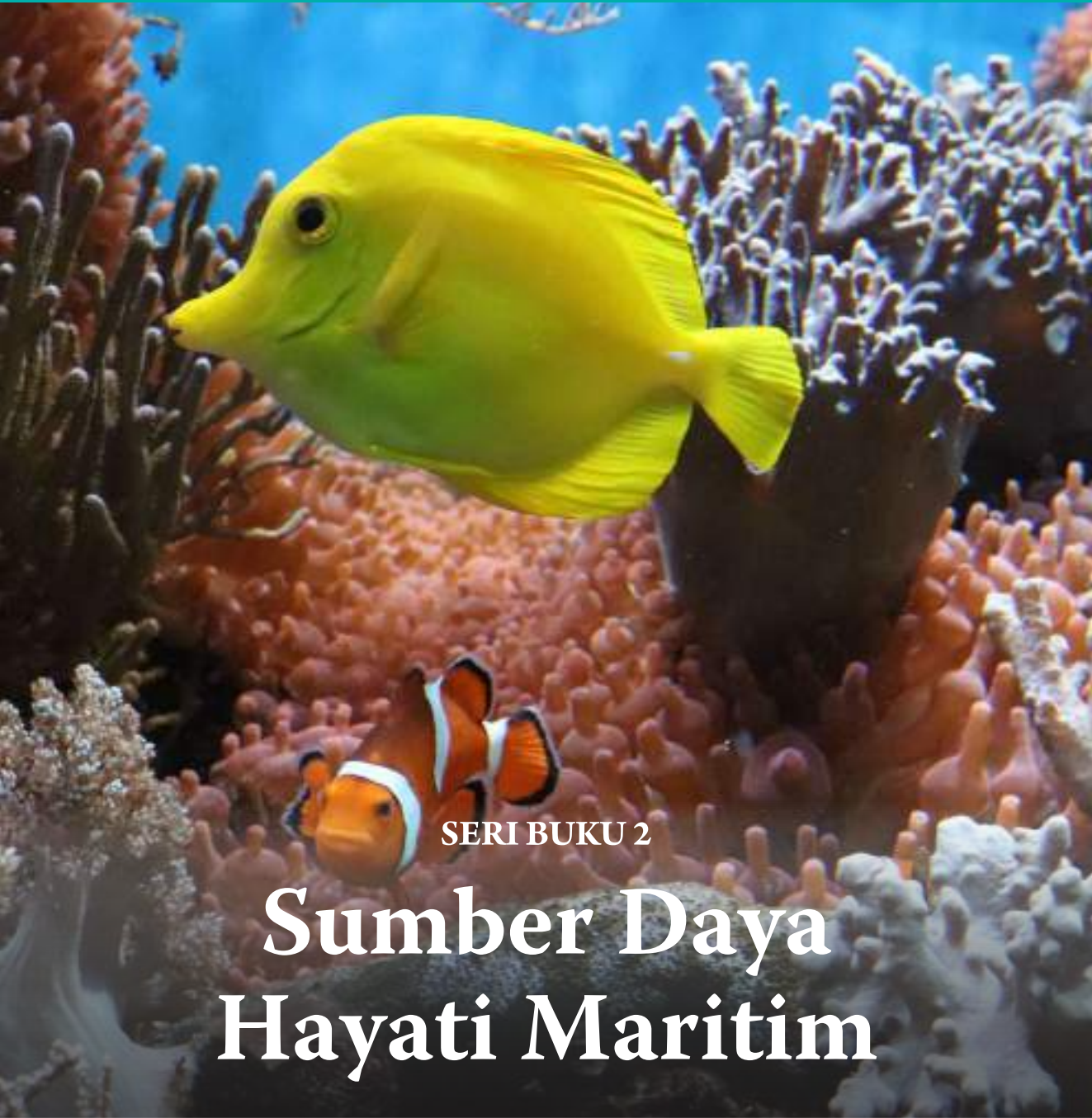


BUKU BESAR MARITIM INDONESIA



SERI BUKU 2

Sumber Daya Hayati Maritim

Editor :

**Sjarief Widjaja
Kadarusman**

BUKU BESAR MARITIM INDONESIA

Seri Buku 2

**Sumber Daya
Hayati Maritim**

Editor:

**Sjarief Widjaja
Kadarusman**

2019

Sumber Daya Hayati Maritim

- Editor : Sjarief Widjaja
Kadariusman
- Tim Penulis : Kadariusman
Rita Rachmawati
Nur Azmi Ratna Setyawidati
Sinar Pagi Sektiana
Ricardo F. Tapilatu
Hatim Albasri
Erfind Nurdin
Rahmad Surya Hadi Saputra
Dedi Noviendri Muhammad
Nursid
Dini Purbani
- Alih dan Tata Bahasa : Wiko Rahardjo
- Tata Letak : Sigit Widihardono
- Cetakan Pertama : 2019
- Penerbit : AMAFRAD PRESS
Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan
Gedung Mina Bahari III, Lantai 6
Jl. Medan Merdeka Timur No. 16 Jakarta Pusat 10110
Tel. (021) 3513300 /Fax. (021) 3513287
- Jumlah Halaman : x + 390 halaman
- ISBN : 978-623-7651-25-3
e-ISBN : 978-623-7651-24-6

Sitasi:

Kadariusman, Rachmawati R., Setyawidati N. A. R., Sektiana S. P., Tapilatu R. F., Albasri H., Nurdin E., Saputra R. S. H., Noviendri D., Nursid M., & Purbani D. 2019. Sumber Daya Hayati Maritim, in S. Widjaja dan Kadariusman (eds), Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

©Hak Cipta Dilindungi Undang-undang.

Dilarang memperbanyak dan atau menyebarkan dalam bentuk apa pun seperti elektronik, fotokopi, pemindaian, alih file dan sejenisnya dari sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa seizin penerbit.

Sumber Daya Hayati Maritim

Tim Penulis :

Kadariusman

Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, KKD BP-SGK, Laboratory of Aquatic Biodiversity, Conservation and Domestication, Sorong, Papua Barat; Sekolah Tinggi Perikanan, KKD Pengelolaan Sumber Daya Perairan, SR. Bioekologi, Laboratorium Biologi dan Konservasi, Jakarta Selatan

Rita Rachmawati

Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Nur Azmi Ratna Setyawidati

Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Sinar Pagi Sektiana

Program Studi Teknologi Akuakultur, Sekolah Tinggi Perikanan (STP), Jakarta

Ricardo F. Tapilatu

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) dan Program Sumber Daya Akuatik (SDA) dan Ilmu Lingkungan - Pascasarjana Universitas Papua (UNIPA); Pusat Penelitian Sumber Daya Perairan Pasifik (P2SP2) – Universitas Papua (UNIPA), Manokwari, Papua Barat

Hatim Albasri

Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Erfind Nurdin

Balai Riset Perikanan Laut, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Rahmad Surya Hadi Saputra

Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang

Dedi Noviendri

Balai Besar Riset Pengolahan Produk Dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan

Muhammad Nursid

Balai Besar Riset Pengolahan Produk Dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan

Dini Purbani

Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

DAFTAR ISI	vi
BAB I SUMBER DAYA HAYATI LAUT	1
<i>Kadariusman, Rita Rachmawati, Nur Azmi Ratna Setyawidati, Sinar Pagi Sektiana, Ricardo F. Tapilatu</i>	
1.1 Keanekaragaman Sumber Daya Hayati	2
BAB II BIOTA LAUT	9
<i>Rita Rachmawati, Kadariusman, Nur Azmi Ratna Setyawidati, Sinar Pagi Sektiana, Ricardo F. Tapilatu</i>	
2.1 Keanekaragaman Biota Laut	10
2.1.1 Mikrobioma	10
2.1.2 Plankton	19
2.1.3 Makroalga (Rumput Laut)	32
2.1.4 Lamun	36
2.1.5 Mangrove dan Tanaman Pantai Lainnya	38
2.1.6 Karang dan Cnidaria Lainnya	42
2.1.7 Krustasea	51
2.1.8 Moluska, Ekinodermata, dan Invertebrata Lainnya	57
2.1.9 Ikan	65
2.1.10 Mamalia Laut	88
2.1.11 Reptil Laut	94
2.1.12 Burung Laut/Pantai	101
BAB III EKOSISTEM LAUT, PESISIR, PULAU-PULAU KECIL, DAN BIOREGION	105
<i>Nur Azmi Ratna Setyawidati, Rita Rachmawati, Kadariusman, Sinar Pagi Sektiana, Ricardo F. Tapilatu, Dini Purbani</i>	
3.1 Ekosistem Laut	106
3.1.1 Estuari	106
3.1.2 Pantai	108
3.1.3 Hutan Mangrove	109
3.1.4 Padang Lamun	112
3.1.5 Terumbu Karang	113
3.1.6 Laut Lepas	116
3.1.7 Laut Dalam	120
3.2 Kawasan Pesisir, Pulau-Pulau Kecil dan Bioregion	127
3.2.1 Pesisir dan Pulau-pulau Kecil	127
3.2.2 Ekoregion	130
BAB IV NILAI, ANCAMAN, DAN PEMANFAATAN KEANEKARAGAMAN HAYATI LAUT	141
<i>Kadariusman, Rita Rachmawati, Nur Azmi Ratna Setyawidati, Sinar Pagi Sektiana, Ricardo F. Tapilatu</i>	
4.1 Ancaman dan Konflik Sumber Daya Hayati Laut	144



4.1.1	Ancaman	144
4.1.2	Konflik	155
4.2	Kelangkaan dan kepunahan	155
4.2.1	Kelangkaan (<i>rarity</i>)	155
4.2.2	Kepunahan (<i>extinction</i>)	157
4.3	<i>Hotspot</i> Keanekaragaman Hayati Laut (<i>Marine Biodiversity Hotspot</i>)	158
4.3.1	Kategori <i>Hotspot</i>	158
4.3.2	Ancaman dan Dampak Terhadap <i>Hotspot</i> Laut	158
4.4	Kebijakan dan Rencana Aksi	164
4.5	Strategi Kebijakan Pelestarian dan Pengelolaan Biodiversitas Laut	165
BAB V PERIKANAN TANGKAP BERKELANJUTAN		177
<i>Erfind Nurdin, Rahmad Surya Hadi Saputra, Sinar Pagi Sektiana, Rita Rachmawati, Hatim Albasri</i>		
5.1	Potensi Perikanan Tangkap Indonesia	178
5.1.1	Wilayah Pengelolaan Perikanan Indonesia	180
5.1.2	Rencana Pengelolaan Perikanan (RPP)	189
5.2	Pemanfaatan Sumber Daya Ikan Berkelanjutan	194
5.2.1	Tiga Pilar Pembangunan Perikanan	194
5.3	Konservasi dan Rehabilitasi untuk Perikanan Berkelanjutan	202
5.3.1	Habitat Ikan	202
5.3.2	Terumbu Karang	205
5.3.3	Mangrove	209
5.3.4	Lamun	211
5.3.5	Estuaria	214
5.4	<i>Sustainable Development Goals</i> (SDGs) Ke-14	216
5.5	<i>Illegal Unreported Unregulated Fishing</i> (IUU FISHING)	220
5.6	Kebutuhan Pangan Perikanan	229
5.7	Sistem Logistik Ikan Nasional	230
5.8	Peningkatan Produk Perikanan	232
5.9	Perikanan Bertanggung Jawab (<i>Responsible Fisheries</i>)	238
BAB VI PERIKANAN BUDIDAYA BERKELANJUTAN		253
<i>Hatim Albasri, Sinar Pagi Sektiana, Erfind Nurdin, Rahmad Surya Hadi Saputra, Rita Rachmawati</i>		
6.1	Perikanan Budidaya Berkelanjutan	256
6.2	Perikanan Budidaya Berbasis Ekosistem	258
6.3	Arah Kebijakan Pembangunan Perikanan Budidaya Indonesia	260
6.4	Sumber Daya Perikanan Budidaya Indonesia	263
6.5	Teknologi Akuakultur Berkelanjutan	269
6.6	Manajemen Lingkungan Perikanan Budidaya	275
6.7	Kesehatan dan Keamanan Produk Perikanan Budidaya	284
6.8	Tata Kelola Perikanan Budidaya Indonesia	289
BAB VII BIOTEKNOLOGI MARITIM		295
<i>Dedi Noviendri, Muhammad Nursid</i>		
7.1	Pembagian Bioteknologi Berdasarkan Warna dan Area Aktivasinya	297
7.1.1	Bioteknologi Konvensional	299
7.1.2	Bioteknologi Molekuler (Modern)	300

7.2	Manfaat dan Dampak Negatif Bioteknologi	301
7.3	DNA Heliks Ganda dan Teknologi DNA Rekombinan	301
7.4	<i>Polimerase Chain Reaction</i> (PCR)	304
7.5	<i>Biodiscovery</i> Bahan Bioaktif dari Laut	307
7.6	Sumber-sumber Omega (3, 6, dan 9) dari Laut	323
7.7	Sumber Lipid dari Laut	325
7.8	Pigmen Karotenoid dari Laut	327
7.9	Produk Komersial Utama dari Mikroalga dan Rumput Laut	337
BAB VIII BIOTEKNOLOGI BIRU		339
<i>Dedi Noviendri, Muhammad Nursid</i>		
8.1	Aplikasi Bioteknologi Pada Lingkungan Perairan Laut	344
8.2	Aplikasi Bioteknologi Kelautan dalam Biorefineri, Biomassa, Biofuel dan Biodiesel	344
	8.2.1 Biorefineri	344
	8.2.2 Biomassa	346
	8.2.3 Biofuel	348
	8.2.4 Biodiesel	352
8.3	Pengembangan dan Aplikasi Produk Laut	356
	8.3.1 Herbal dan Nutrasetikal	356
	8.3.2 Kosmetika	358
	8.3.3 Farmasetika	366
8.4	Potensi Ekonomi Bioteknologi Kelautan	374
	8.4.1 Strategi untuk Menggali Senyawa Bioaktif dan Biokatalis dari Laut	376
	8.4.2 Prospek Pengembangan Bioteknologi Kelautan Indonesia	378
Daftar Pustaka		382
Indeks		401
Glosarium		412

BAB I

Sumber Daya Hayati Laut

Kadariusman

Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, KKD BP-SGK, Laboratory of Aquatic Biodiversity, Conservation and Domestication, Sorong, Papua Barat; Sekolah Tinggi Perikanan, KKD Pengelolaan Sumber Daya Perairan, SR. Bioekologi, Laboratorium Biologi dan Konservasi, Jakarta Selatan

Rita Rachmawati

Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Nur Azmi Ratna Setyawidati

Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Sinar Pagi Sektiana

Program Studi Teknologi Akuakultur, Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta

Ricardo F. Tapilatu

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) dan Program Sumber Daya Akuatik (SDA) dan Ilmu Lingkungan - Pascasarjana Universitas Papua (UNIPA); Pusat Penelitian Sumber Daya Perairan Pasifik (P2SP2) – Universitas Papua (UNIPA), Manokwari, Papua Barat

Sitasi:

Kadariusman, Rachmawati R., Setyawidati N. A. R., Sektiana S. P., & Tapilatu R. F. 2019. Sumber Daya Hayati laut, in S. Widjaja dan Kadariusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Sumber Daya Hayati Laut

Laut memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Dengan luas meliputi dua pertiga dari total luas keseluruhan Bumi, laut bukan hanya menjadi ruang hidup namun juga sebagai sumber kebutuhan pangan manusia. Laut juga menyediakan setidaknya setengah kebutuhan oksigen bagi makhluk hidup dan menjadi lumbung sumber protein hewani dan nabati manusia. Penting untuk dicatat bahwa setidaknya setengah dari produsen primer di muka Bumi berasal dari spesies lautan.

1.1 Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati atau biodiversitas adalah ukuran variasi keragaman dan kelimpahan makhluk hidup, baik pada level genetik, spesies maupun ekosistem. Tingkat keragaman spesies pada belahan bumi tropis jauh lebih tinggi dibandingkan dengan belahan bumi utara dan selatan. Tingginya keanekaragaman spesies tersebut dipengaruhi oleh ruang hidup yang luas serta akses terhadap sumber daya energi, air, karbon, dan komponen esensial lainnya, di mana sumber daya tersebut digunakan untuk reproduksi dan pertumbuhan oleh hewan dan tumbuhan. Ekosistem hutan hujan tropis hanya mengokupasi 10 persen permukaan bumi, namun menjadi rumah bagi 90 persen keragaman spesies di dunia. Di sisi lain, ekosistem laut besar seperti segitiga karang (*coral triangle*) merupakan wilayah dengan keanekaragaman karang tertinggi di dunia dan menjadi rumah bagi 76 persen dari total terumbu karang dunia, atau 605 spesies dari total 798 spesies.

Secara umum, laut menyelimuti 70 persen permukaan bumi dengan karakteristik empat zona yaitu litoral, limnetik, profundal, dan bentik. Zona litoral adalah perairan laut yang dipengaruhi oleh proses pasang naik dan pasang surut. Artinya saat air laut surut maka wilayah ini akan menjadi pantai, sedangkan saat pasang, zona ini akan tergenang air. Zona limnetik merupakan daerah perairan terbuka yang jauh dari tepi pantai sampai pada kedalaman tertentu yang masih dijangkau oleh penetrasi sinar matahari. Sementara zona profundal adalah daerah perairan yang dalam dan tidak dapat ditembus oleh cahaya matahari. Di daerah ini tidak ditemukan organisme yang berfotosintesis tetapi ditempati oleh hewan pemangsa dan organisme pengurai. Sedangkan zona bentik adalah daerah dasar suatu perairan dan organisme yang hidup di

zona ini disebut bentos, misalnya kumpulan avertebrata bentik, termasuk krustasea dan *polychaetes*.

Pengukuran kondisi parameter lingkungan laut, seperti penetrasi cahaya (kecerahan), sedimentasi, pergerakan air (pasang surut, arus dan gelombang), zona termoklin, suhu, salinitas, kadar oksigen, dan nutrien, dipengaruhi oleh gradien kedalaman (*depth gradient*) dan topografi, baik langsung maupun tidak langsung. Parameter-parameter ini merupakan faktor pembatas dalam pola distribusi spesies melalui zonasi vertikal (*vertical zone*) dan produktivitas perairan laut. Parameter-parameter ini juga dapat dianggap sebagai dasar penentuan klasifikasi ekosistem laut yang sangat berkorelasi dengan matriks keanekaragaman hayati, seperti kekayaan dan komposisi spesies (*species composition*), zona pengelolaan dan pemanfaatan perikanan, dan zona konservasi laut.

Tingkat keanekaragaman hayati laut hingga saat ini belum seutuhnya diketahui secara pasti, khususnya wilayah laut dalam. Dari lima samudra yang menyelimuti Bumi, hanya bagian barat samudra Pasifik (*Indo-West Pacific*) yang memiliki suhu lebih hangat dan dilaporkan memiliki tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di dunia. Sekarang ini untuk memonitor keanekaragaman hayati laut global, beberapa lembaga / organisasi internasional telah membentuk *platform database online* yang disebut *World Register for Marine Species* “WoRMS” (www.marinespecies.org). *Platform* ini telah mendokumentasikan lebih dari 240.000 spesies bawah laut.

Sepanjang tahun 1916-1980, para ilmuwan menggunakan istilah diversitas biologi untuk menggambarkan tingkat keanekaragaman spesies, istilah ini dimotori oleh James Arthur Harris dan Thomas Lovejoy. Pada 1985, W.G Rosen memperkenalkan istilah biodiversitas dan mulai digunakan dalam publikasi ilmiah pada 1988.

Secara garis besar biodiversitas dibagi ke dalam tiga kategori:

A. Keanekaragaman Genetik (*genetic diversity*)

Diversitas genetik adalah variasi karakter genetik dari setiap individu organisme dalam satu populasi atau satu entitas spesies yang sama. Keanekaragaman genetik muncul akibat proses mutasi, perkawinan silang, fertilisasi secara acak, dan merupakan rekombinasi antar kromosom homolog selama fase meiosis. Variasi karakter genetik (*alel*) ini digunakan oleh individu untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Kemampuan adaptasi tersebut kemudian menjadi dasar utama untuk bereproduksi dan mempertahankan kelangsungan hidup populasinya. Penurunan dan hilangnya karakter genetik sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor (alam dan manusia) dan umumnya terjadi pada ukuran populasi yang kecil, yang dapat ditemukan di alam dan kegiatan budidaya.

Data genetik berupa sekuens molekuler (nukleotida dan protein) sekarang ini dapat diakses secara luas di beberapa sistem repositori *online* seperti Genbank (www.ncbi.nlm.nih.gov), *platform DNA Barcoding-Barcode of life data system* (www.boldsystems.org), European Nucleotide Archive (www.ebi.ac.uk/ena) dan DNA Data Bank of Japan (www.ddbj.nig.ac.jp).

Genbank merupakan *platform* DNA terbesar di dunia. Saat ini jumlah sekuens yang disimpan di Genbank sejumlah 212.775.414 sekuens. Sedangkan data *Whole Genome Shotgun* (WGS) telah mencapai 993.732.214 sekuens. Seiring dengan kemajuan teknologi, dan laju kepunahan spesies, inventarisasi cepat data genetik makhluk hidup telah menggunakan teknik modern dan protokol spesifik seperti *DNA barcoding system* dan *environmental DNA* (eDNA). Metode *DNA barcoding* disebut sebagai metode identifikasi spesies yang paling efektif saat ini, dengan menggunakan sebagian porsi sekuens gen *Cytochrome c Oxidase* subunit I (COI). Hal ini didasari karena gen COI sangat mudah diamplifikasi dan memiliki laju mutasi (*mutation rate*) yang tinggi (Kadarusman *et al.*, 2012). Sedangkan eDNA menggunakan pendekatan *metagenomic* atau *metabarcoding*, dengan metode pengambilan sampel bukan pada objek biota melainkan pada komponen habitatnya seperti air, tanah, lumpur bahkan salju. eDNA dapat mengidentifikasi spesies secara cepat, akurat dan massal karena menggunakan fragmen sekuens pendek sekitar 200 bp pada lokus 12S dan 16S gen rRNA. Pendekatan eDNA sangat efektif untuk keperluan monitoring spesies, terutama spesies atau grup spesies yang memiliki ukuran populasi yang kecil.



Gambar 1. Fluktuasi jumlah keanekaragaman hayati selama era Panerozoik yang mencakupi durasi waktu sejak 542 juta tahun silam. Kepunahan massal tertinggi terdeteksi pada periode Permian–Triassic sekitar 250 juta tahun lalu, kemudian mulai meningkat secara eksponensial pada periode Jurassic (Diadaptasikan dari Rosing *et al.*, 2010).

eDNA digambarkan sebagai bahan genetik berupa potongan DNA pendek yang ditinggalkan atau terlepas oleh spesies dalam komponen lingkungan, misalnya dalam tanah, sedimen, dan air. Bahan genetik tersebut dapat berupa sisik, feses, urin, air liur, daging maupun bagian luar tubuh yang terlepas ke perairan.

Studi mengenai penggunaan eDNA turut berkembang semenjak *DNA barcoding* digunakan sebagai salah satu metode pendeteksian cepat terhadap spesies melalui pendekatan molekuler, yaitu pendeteksian berdasarkan sekuens DNA (potongan pendek DNA yang terstandar) yang mampu menghasilkan dan membedakan spesies. Teknologi lanjutannya, yaitu *DNA metabarcoding* yang mampu mendeteksi berbagai spesies dalam suatu sampel. Di Indonesia, meskipun dikenal memiliki keanekaragaman hayati laut terbesar, pendekatan studi melalui eDNA masih minim.

B. Keanekaragaman Spesies (*species diversity*)

Diversitas spesies menunjukkan variasi jumlah spesies dalam suatu kelompok taksa (komunitas) makhluk hidup yang mendiami ruang habitat tertentu. Keragaman spesies terdiri dari tiga komponen, yaitu kekayaan jenis dan keanekaragaman taksonomik/filogenetik dan pemerataan spesies. Para ilmuwan memperkirakan ada 1,6 juta spesies organisme yang hidup di lautan. Sekitar 1 juta spesies termasuk ke dalam golongan animalia, dan sekitar 95 persen terdiri dari hewan yang tidak bertulang belakang (invertebrata) seperti ubur-ubur dan udang-udangan (Bouchet, 2006). Jumlah spesies tersebut diyakini akan terus bertambah mengingat banyaknya wilayah laut yang belum tereksplorasi secara ilmiah.

Pada konteks keanekaragaman spesies secara total, para ilmuwan menduga bahwa jumlah spesies unik dan *relict* belum seutuhnya diketahui karena kurangnya aktivitas eksplorasi laut dalam. Namun demikian, para peneliti menemukan ada sekitar 1.000 spesies baru (semua *kingdom*) setiap tahun.

Dalam kurun waktu lebih dari 500 juta tahun (era Pareozoik), keanekaragaman hayati di muka bumi dimulai pada periode dentuman era Cambrium di mana pada masa ini, semua filum organisme multiseluler mulai muncul dan berkembang sangat pesat. Kepunahan massal diperkirakan terjadi pada periode Permian-Triassik (251 juta tahun lalu). Pasca periode ini, organisme bertulang belakang (vertebrata) membutuhkan 30 juta tahun untuk memulihkan level keanekaragamannya. Saat ini, ilmuwan memperkirakan bahwa jumlah biodiversitas kita berkisar antara 10-14 juta spesies dan hanya 1,2 juta spesies yang telah didokumentasikan dengan baik, dan masih menyisakan 86 persen yang belum dideskripsi.

Kajian Mora *et al.* (2011), melaporkan bahwa keanekaragaman hayati laut belum seutuhnya diketahui secara pasti karena kurang masifnya penelitian sebagaimana yang terjadi pada kajian terestrial. Jumlah keanekaragaman biota laut diperkirakan 2,2 juta spesies. Namun dari jumlah tersebut hanya 194.409 spesies saja yang mampu dideskripsi oleh ilmuwan. Kuantifikasi spesies ini sangat kontras dengan kajian biodiversitas di daratan yang telah mendeskripsi 1,2 juta spesies dari jumlah estimasi 8,7 juta spesies untuk semua filum.

C. Keanekaragaman Ekosistem (*ecosystem diversity*)

Ekosistem adalah hubungan timbal balik antara makhluk hidup dan lingkungan. Dengan kata lain, ekosistem merujuk pada suatu tatanan kesatuan interaksi antara unsur biotik dan abiotik yang dapat saling mempengaruhi. Sehingga diversitas ekosistem menunjukkan variasi ekosistem pada suatu wilayah tertentu dan segala bentuk peranannya, baik terhadap manusia maupun lingkungan sekitar.

Komponen pembentuk ekosistem terdiri dari unsur abiotik dan biotik. Unsur abiotik meliputi suhu, air, garam, cahaya matahari, tanah, batu, dan iklim. Sedangkan unsur biotik meliputi semua organisme yang hidup berasosiasi dengan ekosistem, baik itu konsumen maupun dekomposer. Sistem dan kedinamisan suatu ekosistem sangat tergantung dengan rantai makanan dan jaring-jaring makanan serta siklus karbon, air, nitrogen, dan sulfur. Tipe-tipe ekosistem dapat diklasifikasi ke dalam tiga kelompok besar yaitu ekosistem perairan, darat, dan buatan. Ekosistem perairan meliputi ekosistem sungai, danau, estuari, pantai, dan laut dalam. Secara interaktif spesifik dengan spesies laut, entitas ekosistem berupa mangrove, padang lamun, terumbu karang, dan laut dalam.

Hingga saat ini, ekosistem laut terus mengalami penurunan fungsi dan mengancam kelangsungan biota asosiatifnya yang disebabkan oleh berbagai faktor, baik aktivitas manusia (*anthropogenic*) maupun perubahan iklim (*climate change*). Para penggiat konservasi mengestimasi bahwa sekitar 30 persen habitat biota laut telah mengalami kerusakan dan jika laju kerusakan ini terus terjadi secara konstan maka sekitar 5 persen spesies perairan laut akan punah pada 2100. Sejak periode revolusi industri, jumlah biodiversitas mengalami penurunan dan beberapa spesies dinyatakan punah. Fenomena tersebut dikenal dengan *Holocene extinction*, yang umumnya disebabkan oleh tekanan aktivitas manusia khususnya kerusakan habitat.

Keanekaragaman hayati merupakan satu dari sepuluh elemen kunci untuk memonitor tingkat kesehatan laut yang disebut dengan indeks kesehatan laut atau *Ocean Health Index* (OHI). Indeks ini digunakan untuk menilai secara ilmiah tingkat pemanfaatan laut yang berkelanjutan oleh manusia dilihat dari dimensi biologis, fisik, ekonomi dan sosial. Sejak

tahun 2012, indeks kesehatan laut diimplementasikan secara global dan rencana aksi dirancang untuk skala regional, nasional, daerah, individual. Ekosistem laut sendiri menyediakan dan memenuhi kebutuhan yang bermanfaat bagi kehidupan manusia yang dikenal dengan istilah jasa ekosistem (*ecosystem services*). MEA (2005) membedakan jasa ekosistem ke dalam empat komponen: 1) jasa pendukung (*supporting services*); 2) jasa penyedia (*provisioning services*); 3) jasa pengaturan (*regulating services*); dan 4) jasa budaya (*cultural services*).

BAB II

Biota Laut

Rita Rachmawati

*Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan,
Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)*

Kadariusman

*Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, KKD BP-SGK, Laboratory of Aquatic Biodiversity,
Conservation and Domestication, Sorong, Papua Barat; Sekolah Tinggi Perikanan, KKD Pengelolaan
Sumber Daya Perairan, SR. Bioekologi, Laboratorium Biologi dan Konservasi, Jakarta Selatan*

Nur Azmi Ratna Setyawidati

*Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan,
Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)*

Sinar Pagi Sektiana

Program Studi Teknologi Akuakultur, Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta

Ricardo F. Tapilatu

*Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) dan Program Sumber Daya
Akuatik (SDA) dan Ilmu Lingkungan - Pascasarjana Universitas Papua (UNIPA); Pusat Penelitian
Sumber Daya Perairan Pasifik (P2SP2) – Universitas Papua (UNIPA), Manokwari, Papua Barat*

Sitasi:

Rachmawati R., Kadariusman, Setyawidati N. A. R., Sektiana S. P., & Tapilatu R. F. 2019. Biota laut, in S. Widjaja dan Kadariusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Biota Laut

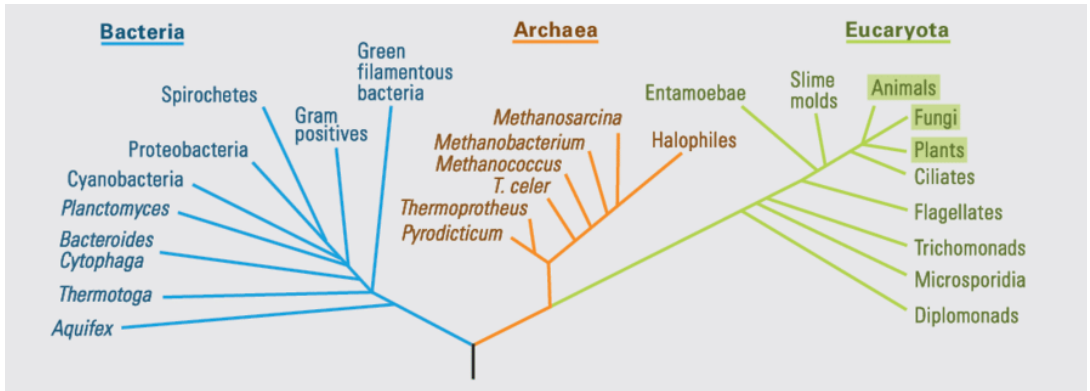
2.1 Keanekaragaman Biota Laut

2.1.1 Mikrobioma

Secara umum, mikrobioma adalah bioma dengan organisme yang berukuran sangat kecil. Mikrobioma terdiri dari bakteri, *archaea*, virus, fungi, protista, dan mikroalga. Bakteri dan *archaea* termasuk kelompok prokariot, yaitu mikroorganisme bersel satu sederhana yang tidak memiliki nukleus dan mitokondria. Kelompok bioma lainnya kecuali virus termasuk eukariot, yaitu organisme dengan sel dan struktur yang lebih kompleks.

Bakteri

Pada umumnya, kita mengenal bakteri sebagai kuman penyakit. Kenyataannya, tidak semua bakteri merupakan sumber penyakit, bahkan hanya sebagian kecil jenis bakteri pembawa penyakit, yaitu yang disebut bakteri patogen. Bakteri masuk dalam kategori mikrobioma, yaitu bioma dengan organisme yang berukuran sangat kecil. Bakteri memiliki keragaman yang sangat tinggi bahkan lebih tinggi dari keragaman tumbuhan dan hewan besar yang bisa kita lihat dengan mata (Gambar. 2). Jumlah bakteri juga sangat banyak,



bahkan jumlah sel bakteri di tubuh kita lebih banyak daripada sel tubuh manusia itu sendiri. Manusia dewasa berbobot 70 kg memiliki setidaknya 0,2 kg bakteri dalam tubuhnya atau sebanyak $3.8 \cdot 10^{13}$ sel bakteri dibandingkan dengan $3.0 \cdot 10^{13}$ sel manusia, termasuk sel darah merah yang mencakup lebih dari 80 persen jumlah sel manusia (Sender *et al.*, 2016). Bakteri ada yang hidup bebas di alam dan ada yang hidup di dalam tubuh organisme lain, yang disebut sebagai *endosimbion*, atau menempel di permukaan organisme lain, yang disebut sebagai *ektosimbion*.

Perkembangan teknologi penelitian telah mengungkap banyaknya bakteri yang hidup di laut atau berasosiasi dengan organisme laut yang baru ditemukan dan belum teridentifikasi sebelumnya. Kita mungkin mengenal beberapa jenis bakteri patogen seperti *Vibrio*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, dan *Clostridium* yang dapat menyebabkan penyakit. Jenis bakteri patogen ini juga ternyata ditemukan hidup di dalam tubuh organisme laut. Selain bakteri patogen, banyak jenis bakteri baik yang diperlukan dalam ekosistem laut maupun dalam tubuh organisme laut, seperti bakteri yang terlibat dalam siklus nitrogen (*diazotrof*, *nitrogen-fiksator*, produser enzim nitrogenase, dan lainnya) atau siklus karbon (pengguna karbon, pengurai karbon, dan lainnya).

Meski banyak jenis bakteri laut yang juga ditemukan di darat, namun banyak jenis bakteri yang dalam jumlah besar ditemukan pada organisme laut sehat. Sebagai contoh, bakteri *Endozoicomonas* merupakan bakteri dominan yang hidup endosimbiosis di banyak jenis karang, seperti *Pocillopora verrucosa* (Neave *et al.*, 2017; Pogoreutz *et al.*, 2018; Rachmawati, 2018), *Stylophora pistillata* (Neave *et al.*, 2017), *Porites lobata* dan *Acropora millepora* (Rachmawati, 2018), serta *Acropora gemmifera*, *Acropora muricata*, dan *Porites Lutea* (Gardner *et al.*, 2019).

Archaea

Archaea merupakan domain prokariot selain bakteri. *Archaea* umumnya hidup di lingkungan dengan kondisi ekstrim seperti suhu panas, suhu dingin,

Gambar 2. Pohon kekerabatan filogenetik berdasarkan informasi genetik dari ribosomal RNA (rRNA) (Credit: Helmut Bürgmann).

kandungan mineral tertentu yang tinggi, salinitas sangat tinggi, tekanan tinggi, dan lainnya. Kendati pun ukuran dan bentuknya mirip bakteri, secara genetik dan metabolisme sedikit lebih mengarah pada eukariot. Selain itu, *archaea* tidak memperbanyak diri dengan membentuk spora. Selain membelah diri, sebagian *archaea* bereproduksi dengan fragmentasi dan pertunasan.

Terdapat tiga kelompok dalam domain *archaea* yaitu *Nanoarchaeota*, *Methanogens*, dan *Thermopiles*. Sesuai namanya, *Nanoarchaeota* merupakan kelompok *archaea* berukuran kecil, *Methanogens* merupakan kelompok *archaea* yang berhubungan dengan metana, dan *Thermopiles* merupakan kelompok *archaea* yang hidup di suhu ekstrim (Morrissey *et al.*, 2018). Di laut, *archaea* banyak ditemukan hidup di laut dalam yang memiliki karakteristik lingkungan ekstrim.

Virus

Virus merupakan organisme unik yang tidak memiliki karakteristik organisme hidup. Kendati pun tidak memiliki organ sel, virus mampu memperbanyak diri secara cepat di dalam organisme hidup, yang berlaku sebagai inang, sehingga dapat disebut agen biologi. Virus berukuran sangat kecil, yaitu sekitar 20 - 30 nm (Morrissey *et al.*, 2018), lebih kecil dari bakteri. Namun ada kelompok virus yang dinamakan *bacteriophage* yang menyerang dan memakan bakteri yang berukuran lebih besar. Karena sifatnya menginfeksi inang yang berupa bakteri atau fitoplankton dan berkembang sangat cepat, virus bersifat merusak dan seringkali menyebabkan penyakit. Di laut, virus merupakan salah satu penyebab sakit pada ikan dan biota lainnya. Salah satu upaya penelitian adalah menemukan vaksin yang dapat mencegah ikan terinfeksi virus tertentu.

Fungi

Yang termasuk ke dalam kelompok fungi adalah ragi atau biasa disebut khamir (*yeasts*), kapang (*molds* atau *moulds*), dan jamur (*mushrooms*). Sebagian fungi bersifat parasitik yang menyerap nutrisi dari biota inang yang hidup, sedangkan sebagian lainnya bersifat saprobik yang menyerap nutrisi dari detritus dan materi organik tidak hidup. Selain bakteri, fungi saprobik adalah dekomposer yang merubah nutrisi menjadi produk primer dan merupakan dekomposer utama dalam merubah selulosa dan lignin dari dinding sel tumbuhan. Fungi memiliki peran penting dalam siklus karbon. Fungi mengurai bahan organik menjadi bahan anorganik dan melepas sebagian karbon kembali ke atmosfer.

Memiliki keragaman morfologi yang tinggi (Gambar 3), hampir semua jenis fungi laut hanya hidup dan berkembang biak di laut atau air payau. Sedangkan jenis fungi air tawar atau darat ada yang dapat hidup dan berkembang biak di laut. Setidaknya diketahui 1.300 spesies fungi laut dengan



Gambar 3.
Keragaman morfologi
fungi laut yang
diisolasi dari spons
laut *Ircinia variabilis*.
(Photo credit: Amend
et al., 2019)

masih banyak lagi jenis fungi laut yang belum teridentifikasi. Sementara spesies fungi yang telah berhasil diidentifikasi sebanyak 712.000 spesies, yang masih jauh dari jenis fungi yang belum teridentifikasi (Schmit and Mueller, 2007). Tanpa menyebut jenis yang bersifat parasit, fungi laut dapat ditemukan pada kayu dan daun mangrove yang jatuh, sedimen, alga, lamun, karang, moluska, dan biota laut lainnya di semua lintang dan kedalaman (Morrissey *et al.*, 2018). Sekitar setengah dari jenis fungi laut berperan dalam proses dekomposisi mangrove, dengan sekitar 150 spesies diantaranya hanya ditemukan di kayu, akar, dan biji mangrove. Sebagian jenis fungi laut lainnya hidup di dalam komponen kalsium atau kapur dari moluska, *barnacle*, dan karang, yang menyuplai kebutuhan detritus karbonat. Mereka berperan penting dalam dekomposisi hewan laut mati.

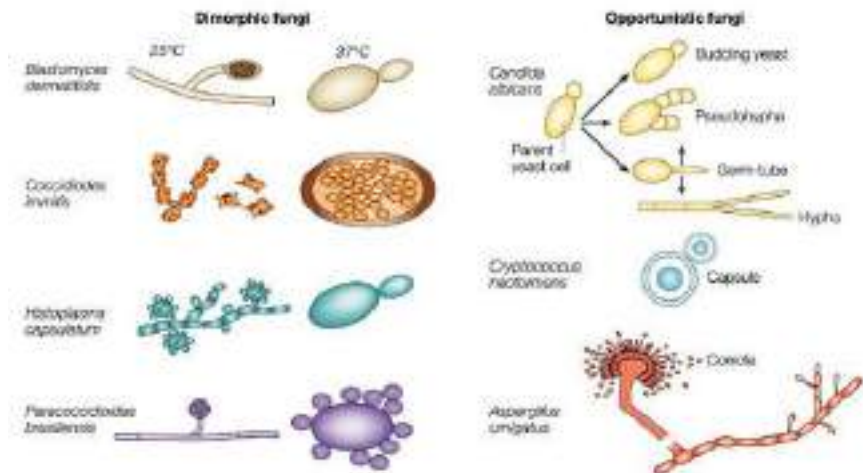
Pada umumnya fungi hidup bersimbiosis dengan organisme lain. Misalnya, fungi bersimbiosis dengan alga membentuk *lichen* atau lumut kerak. Fungi laut bersimbiosis dengan alga yang dapat melakukan fotosintesis seperti alga hijau atau *cyanobacteria*. Manakala fungi bersimbiosis dengan rumput laut, akan terbentuk mikofikobiosis (*mycophycobioses*), yang melindungi rumput laut dari kekeringan saat tidak terendam air. Jenis fungi lain bersimbiosis dengan tanaman sejati, umumnya di bagian akar, membentuk mikoriza (*mycorrhiza*), yang mana fungi menghisap gula dari tanaman dan menyediakan permukaan miselium yang luas untuk tanaman mengekstrak nutrisi tanah. Uniknya, mikoriza hanya ditemukan di rerumputan air asin dan tidak di mangrove.

Di samping fungsinya yang sangat vital dalam proses dekomposisi dan lainnya, fungi dikenal sebagai salah satu agen penyakit. Organisme yang

terjangkit penyakit akibat fungi umumnya sulit untuk diobati sehingga berdampak fatal. Fungi patogen dapat menjangkiti ikan, moluska, krustasea, karang, hingga gurita. Sangat sedikit ditemukan fungi laut menyebabkan penyakit pada tanaman.

Fungi juga dapat berubah bentuk, disebut *dimorfik* atau bentuk ganda, pada suhu tinggi sebagai adaptasi atau sebagai bentuk munculnya materi patogen yang menjadikannya sumber penyakit (Gambar 4, kiri). Selain itu, beberapa jenis fungi juga dapat berubah bentuk mengikuti kondisi yang ada (Gambar 4, kanan), yang membuat fungi bersifat fleksibel dan mampu hidup di berbagai kondisi lingkungan. Hal ini sangat tidak menguntungkan terkait pemanasan global yang sesekali meningkatkan suhu laut secara ekstrim.

Gambar 4. Sifat dimorfik (bentuk ganda, terutama karena perbedaan suhu) dan oportunistik (berubah bentuk karena kondisi lingkungan) dari beberapa spesies fungi. (Photo credit: Luigina Romani/Nature Review Immunology)

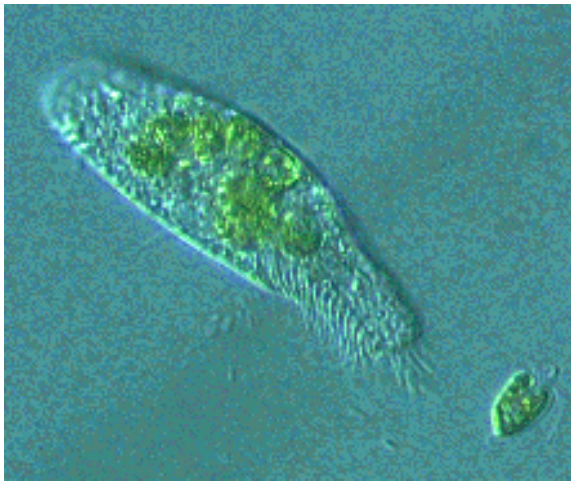


Dari semua kelompok fungi, kelompok kapang bersel satu umumnya sering dikategorikan sebagai mikroorganisme. Dalam kehidupan sehari-hari, khamir (*yeasts*) biasa digunakan dalam pembuatan yogurt, keju, dan mentega. Adapun kapang (*molds* atau *moulds*) digunakan untuk membuat tempe, tauco, kecap, tape, dan keju. Sedangkan jamur (*mushrooms*) umum dikenal sebagai campuran dalam masakan, namun perlu diingat banyak jenis jamur beracun yang tidak dapat dimakan.

Secara khusus, kapang laut memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kapang darat yang telah digunakan secara luas untuk proses pembuatan makanan maupun industri. Beberapa keunggulan tersebut antara lain memiliki toleransi osmosis yang lebih tinggi, produktivitas kimia khusus yang lebih tinggi, serta memproduksi lebih banyak enzim yang digunakan di industri (Zaky *et al.*, 2014). Karenanya, ke depan pengembangan kapang laut sangat berpotensi dalam meningkatkan kualitas serta keragaman produk makanan dan industri.

Protista

Protista merupakan kelompok organisme eukariot bersel satu yang tidak dapat diklasifikasikan ke dalam hewan, tumbuhan, maupun fungi (Gambar 5). Kendatipun bukan hewan, protista yang menyerupai hewan dikelompokkan ke dalam Protozoa. Protista yang menyerupai tumbuhan, umumnya berupa alga, dinamakan Protofita (*Protophyta*). Adapun protista yang menyerupai fungi disebut hifa berlendir (*slime mold*). Sebagian besar protista laut hidup sebagai plankton dan akan dibahas secara lebih detail di pembahasan tentang "Plankton".



Gambar 5.
Mikrografik Protista.
(Photo credit: Rebecca
Gast/WHOI)

Mikroalga

Ulasan tentang alga (*algae*) meliputi yang berukuran mikro hingga makro, baik yang bersifat planktonik maupun yang bersifat benthik. Istilah alga memiliki kedudukan taksonomi dengan rentang klasifikasi yang sangat beragam baik prokariot maupun eukariot dan mencakup 14 filum. Pada bagian ini hanya akan dibahas mengenai alga berukuran mikro.

Mikroalga adalah organisme mikro (< 20 μm) uniseluler yang hidup secara soliter dan koloni, fotoautotrof, dan berinti sel. Karenanya, dalam skema filogeni, penggolongan mikroalga memiliki spektrum yang luas meliputi grup eukariotik protista (diatom), prokariotik *cyanobacteria* (*blue-green algae*), dan mesokariot (*dinoflagellata* dan *euglenoid*). Kekerabatan mikroalga prokariotik sangat dekat dengan golongan bakteri. Namun ketika analisis penggolongan mempertimbangkan asal-usulnya dengan kepemilikan pigmen pada *kloroplas*, mikroalga dimasukkan dalam golongan eukariot yang kekerabatannya dekat dengan golongan tumbuhan tinggi dan makroalga atau rumput laut. Dalam ekosistem, mikroalga adalah produsen primer di mana produktivitas perairan sangat bergantung pada keberadaan fitoplankton atau mikroalga. Pada umumnya, mikroalga hidup secara bebas sebagai fitoplankton dan akan diuraikan lebih lanjut di pembahasan tentang "Fitoplankton".

Siklus hidup mikroalga tergantung pada jenisnya dan relatif pendek dalam hitungan jam sampai hari. Alasan ini menjadikan biomassa mikroalga dapat dimanfaatkan dalam skala industri. Mikroalga melakukan reproduksi seksual membentuk zigot yang kemudian berkembang menjadi *kista istirahat* yang sama sekali berbeda secara morfologis dengan sel-sel vegetatif yang aktif membelah. Di samping kista dan sel-sel vegetatif, alga tersebut jika dalam kondisi stres mampu berubah menjadi kista temporer.

Kawasan pesisir merupakan wilayah dengan produktivitas primer yang tinggi karena memiliki kerapatan mikroalga yang lebih tinggi dibandingkan perairan laut lepas. Pada kawasan pesisir, proses *upwelling*, yaitu naiknya air laut dari dasar yang membawa nutrisi (fosfat dan nitrat) ke permukaan perairan, memperkaya nutrisi yang berasal dari wilayah daratan melalui muara sungai. Peningkatan jumlah nutrisi dari daratan biasanya dipicu adanya aktivitas antropogenik seperti kegiatan industri, pertanian, dan pembukaan lahan yang menyebabkan pencemaran. Proses pengayaan nutrisi dan bahan organik yang berlebihan ini menyebabkan eutrofikasi. Keadaan di mana populasi mikroalga mengalami ledakan atau dikenal sebagai *blooming* plankton (*alga-bloom*) dapat mengakibatkan kematian ikan massal.

Aplikasi Bioteknologi dan Komersial

Aplikasi mikroalga menjanjikan untuk dikembangkan dalam bidang industri dan bernilai ekonomi.

a. Sebagai Biopolimer

Biopolimer mikroalga mengandung potensi bioaktif yang berasal dari PUFA dan pigmen. Potensi metabolisme bioaktif ini berperan dalam perawatan kesehatan dan peningkatan gizi manusia (*nutraseutikal*, *farmaseutikal*, dan *kosmeseutikal*). Mikroalga juga banyak mengandung β -karoten, lutein, astaxanthin, DHA, vitamin, protein (*phycobiliprotein*), klorofil, dan asam lemak tidak jenuh jamak (*polyunsaturated fatty acids*). Properti bioaktif yang terkandung dalam mikroalga tersebut merupakan hasil dari metabolisme sekunder. Komposisi dari bahan bioaktif dimanfaatkan sebagai antibakteri, antikanker, antiinflamasi, antivirus, antijamur, immunosupresif, dan *hepatotoxins* atau *neurotoxins*. Contoh mikroalga yang telah digunakan adalah *Spirulina*, *Chlorella*, dan *Dunaliella salina*.

b. Sebagai Pupuk Nabati (*Biofertilizer*) dan Pakan

Untuk saat ini, penelitian dan pemanfaatan mikroalga transgenik untuk aplikasi komersial terus berkembang. Eksplorasi potensi mikroalga sebagai sumber bahan baku pupuk nabati dan pakan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan sudah pada tahapan industri. Untuk pakan misalnya, digunakan jenis *Tetraselmis* sp. dan *Nannochloropsis* sp.

c. Sebagai Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*)

Sumber energi terbarukan menggunakan bahan mikroalga telah banyak dilakukan penelitiannya terutama jenis *cyanobacteria* (lihat sub bab Fitoplankton). Mikroalga dengan kandungan hidrokarbon rantai panjang dan mengeluarkan elektron dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Mikroalga *strain* lokal yang bersimbiosis dengan bakteri telah berhasil digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Konsorsium mikroalga ini tersusun atas enam spesies mikroalga, yaitu *Cyclotella polymorpha*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Golenkinia radiata*, *Syracosphaera pirus*, *Corethron criophilum*, dan *Chlamydomonas* sp. Sedangkan bakteri penyusun konsorsium mikroalga tersebut terdiri dari genus *Corynebacterium*, *Bacillus*, *Pediococcus*, dan *Staphylococcus*.

d. Bioremediasi

Pemanfaatan lain dari mikroalga adalah sistem bioremediasi air limbah. Bioremediasi ini menggunakan tidak hanya kultur satu spesies (monokultur) untuk mendapatkan biomassa yang besar namun konsorsium atau kumpulan dari berbagai jenis yang tepat untuk mengabsorpsi bahan-bahan anorganik (seperti logam berat) dan organik (seperti tumpahan minyak) di perairan. Melalui proses bioremediasi, diharapkan air akan kembali bersih sesuai baku mutu dan dapat digunakan kembali. Mikroalga *indigenous* lebih banyak dimanfaatkan dalam proses bioremediasi di perairan laut dibandingkan mikroalga transien. Contoh yang sudah umum digunakan adalah sistem *alga turf scrubber* (ATS) untuk kultivasi perifiton (biofilm). Sistem ini dapat menghilangkan kontaminasi fosfor.

Preservasi dan Kultur Mikroalga

Di samping metode konvensional yang sudah dilakukan secara umum, *strain* mikroalga tertentu dapat disimpan hidup selama bertahun-tahun dengan metode *cryopreservation*, yaitu dengan pendinginan secara bertahap hingga mencapai suhu - 80 °C. Prinsip dasar dari preservasi mikroalga adalah *strain* dipelihara dalam media cair atau media agar dalam ruangan dengan berbagai kondisi suhu dan fotoperiode sesuai dengan karakteristik alga bersangkutan. Kemudian, secara rutin *strain* alga disegarkan kembali dalam media baru dalam tenggang waktu mingguan atau bulanan sesuai dengan pertumbuhan masing-masing *strain*.

Domestikasi alga dapat dilakukan dengan memisahkan satu jenis alga liar dari mikrofauna dan mikroflora di komunitasnya dan dibiakkan dalam media tertentu hingga menjadi monokultur mikroalga. Monokultur ini dapat diperoleh dengan proses kultur klon (*streaking* dan *serial dilution*) di mana suatu populasi mikroalga diturunkan dari satu sel atau fragmen mikroalga. Proses selanjutnya adalah pemurnian mikroalga (*single-cell isolation*) hingga benar-benar bersifat aksenik atau bebas bakteri.

Zooxanthellae

Pada sebagian Cnidaria dan moluska, mikroalga bersel satu yang hidup sebagai endosimbion di dalam jaringan tubuh dinamakan *zooxanthellae*, yang berarti alga coklat yang hidup di dalam tubuh hewan. *Zooxanthellae* merupakan kelompok *dinoflagelata* dari genus *Symbiodinium* dan *Amphidinium*. *Zooxanthellae* hidup bersimbiosis mutualisme dengan inangnya. Sebagai alga, *zooxanthellae* menggunakan energi matahari untuk mengubah nutrien menjadi energi organik yang merupakan makanan bagi inangnya sementara sang inang menyediakan tempat berlindung dan bahan anorganik sebagai nutrien untuk fotosintesis *zooxanthellae*.

Selain itu, pigmen pada *zooxanthellae* memberi warna pada sebagian besar inangnya. Hampir semua karang keras *Scleractinia* memiliki *zooxanthellae* yang membuatnya berwarna-warni indah. Apabila karang kehilangan *zooxanthellae* berarti karang tersebut akan kehilangan warna yang membuatnya terlihat berwarna putih; kejadian ini dikenal dengan pemutihan karang (*coral bleaching*). Organisme laut lain yang juga sebagian memiliki *zooxanthellae* adalah karang lunak, anemon, cumi-cumi, kima, dan nudibranch (Gambar 6).



Gambar 6.
Nudibranch spesies
Placida cf. dendritica
memiliki kloroplas
hijau di dalam
tubuhnya yang
berasal dari alga yang
dimakannya. (Photo
credit: Bill Rudman/
Australian Museum)

2.1.2 Plankton

Istilah plankton dapat merujuk pada dua hal. Pertama berdasarkan karakteristik gerak organisme air terhadap arus. Suatu organisme air bisa dikategorikan sebagai kelompok plankton apabila tidak mampu secara aktif melawan arus. Contohnya, mikroorganisme, larva ikan, dan ubur-ubur (Gambar 7). Dalam hal ini, lawan dari plankton adalah nekton, yaitu kelompok organisme air yang secara aktif mampu melawan arus. Ikan dan mamalia laut adalah nekton.



Gambar 7.
Macam-macam
plankton
(Photo credit: WHOI)

Kedua, pengertian plankton merujuk pada hewan planktonik yang hidup di kolom air dan berpindah dari satu tempat ke tempat lain mengikuti arus. Pada kategori ini, lawan dari plankton adalah bentos, yaitu biota yang hidup secara bentik di dasar perairan atau menempel pada substrat sehingga bersifat menetap.

Secara taksonomi, plankton terbagi menjadi beberapa kelompok. Pertama, kelompok fitoplankton, yaitu tumbuhan yang hidup sebagai plankton. Umumnya berupa mikroalga bersel satu. Alga biru, alga hijau, dan alga coklat, yang termasuk kelompok prokariot, juga termasuk fitoplankton karena merupakan bakteri *autotrof* yang berfotosintesis.

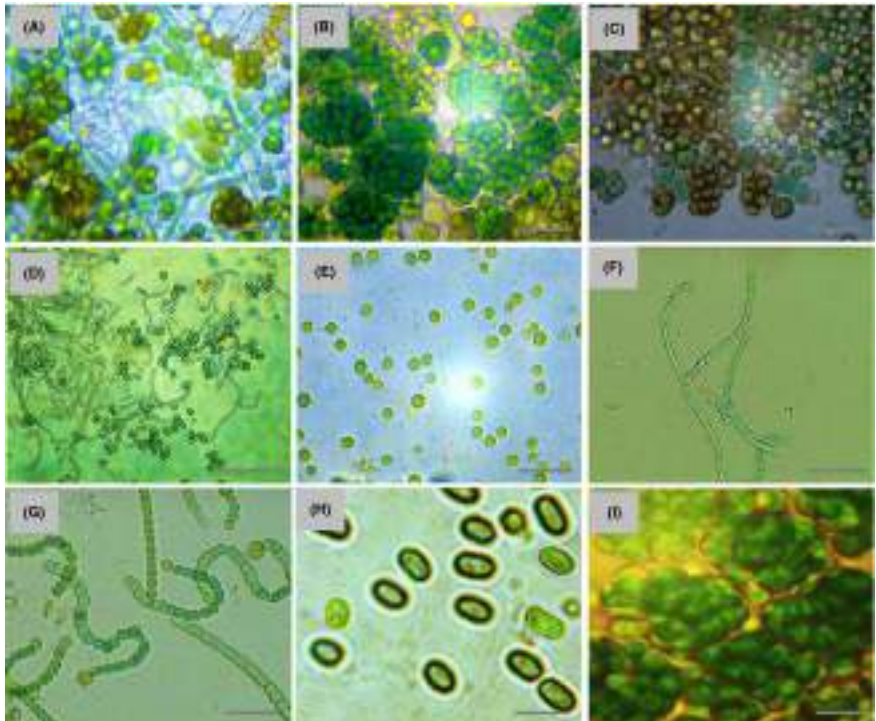
Kedua, kelompok iktioplankton, yaitu ikan yang bersifat planktonik, terutama pada saat fase telur dan larva. Karena ikan adalah hewan, maka iktioplankton juga termasuk *zooplankton*, yaitu hewan yang hidup sebagai plankton. Ketiga, kelompok *metazooplankton* yang merupakan plankton dari kelompok Metazoa. Keempat, kelompok *protozooplankton* yang merupakan plankton dari kelompok Protozoa. Kelima, ada juga kelompok *mikroplankton*, yaitu fungi yang bersifat *planktonik*. Kemudian, keenam, kelompok *bakterioplankton*, yaitu bakteri yang hidup bebas dan bersifat *planktonik*.

Ketujuh adalah kelompok *virio plankton*, yaitu virus yang bersifat planktonik. Kelompok lain berdasarkan habitat adalah *epibakteri*, yaitu bakteri yang hidup di permukaan substrat.

Berdasarkan ukurannya, plankton dapat dikelompokkan menjadi beberapa ukuran, merujuk pada modifikasi dari klasifikasi Schutt (1892) yaitu *femtoplankton* (<0.02-0.2 μm ; virus), *pikoplankton* (0.2-2 μm ; protista, bakteri), *ultraplankton* (2-5 μm), nanoplankton (5-20 μm ; diatom, dinoflagelata), mikrop plankton (20-200 μm ; protozoa), *mesoplankton* (0.2-20 mm; *kopepoda*, *foraminifera*), dan makrop plankton (2-20 cm; pteropod, *krill*). Secara definisi, ubur-ubur termasuk hewan *planktonik*. Ukurannya cukup besar untuk dapat dilihat kasat mata, bahkan dapat berukuran sangat besar sehingga hewan *planktonik* semacam ubur-ubur disebut *megaplankton* (>20 cm).

2.1.2A Fitoplankton

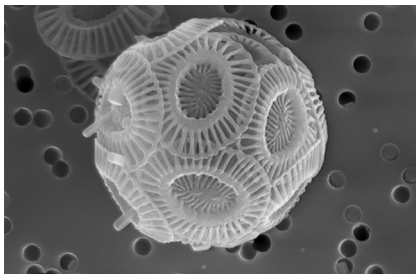
2.1.2A.1 Cyanobacteria. Organisme ini lebih dikenal sebagai *blue-green algae*. Merupakan organisme prokariot bersel satu, *cyanobacteria* tidak memiliki flagela (Gambar 8). Organisme mikroskopis ini, umumnya berukuran kurang dari 5 μm (*ultraplankton*) dan mencakup setidaknya 4.484 spesies (algaebase.org) yang mampu berfotosintesis menggunakan pigmen klorofil-a, karoten (*carotene*) dan fikobilin (*Phycobilin*). Pigmen fikobilin merah dari spesies *Oscillatoria* membuat Laut Merah (*The Red Sea*) menyandang nama ini.



Gambar 8. (A-D) Beberapa bentuk koloni *cyanobacteria*, baik sebagai sel tunggal maupun filamen, dan morfologi *cyanobacteria* dari spesies (E) *Synechocystis* sp., (F) *Scytonema* sp., (G) *Nostoc* sp., (H) *Gloeocapsa* sp., dan (I) *Gloeocapsopsis* sp. Garis skala = 10 μm . (Photo credit: Rastogi et al., 2015)

Kendatipun secara individu berukuran sangat kecil, dapat membentuk koloni yang besar atau melimpah dalam densitas yang sangat tinggi, *Lyngbya* adalah salah satu spesies yang dikenal sebagai ‘rambut putri duyung’ (*mermaid hair*) atau ‘rumput laut api’ (*fire weed*) karena pada saat melimpah dapat menyebabkan iritasi dan rasa terbakar pada kulit manusia. *Lyngbya* yang melimpah juga menghambat penetrasi cahaya bagi lamun dan menyumbat jaring ikan, serta di jauhi oleh ikan. Cyanobacteria sangat berperan dalam proses fiksasi nitrogen. Cyanobacteria telah dikembangkan dalam pembuatan *biofuel* untuk bahan bakar alternatif.

2.1.2A.2 Coccolithophore. Kelompok ini masuk ke dalam divisi Haptophyta yang memiliki 693 spesies (algaebase.org), berfotosintesis dengan pigmen klorofil-a, klorofil-c, dan xantofil (*xanthophyll*). Kokolitofor (*coccolithophore*) merupakan nanoplankton yang memiliki flagela.



Gambar 9. Foto sebuah kokolitofor (*coccolithophore*) menggunakan mikroskop elektron. (Photo credit: Paul Matson, University of California Santa Barbara)

2.1.2A.3 Silicoflagellate. Silikoflagelata (*silicoflagellate*) dikenal juga sebagai *golden-brown algae* dari divisi Ochrophyta. Mikroorganisme ini ada yang memiliki flagela, ada yang tidak. Keragamannya sangat tinggi hingga mencapai 668.113 spesies. Pigmen yang dimiliki adalah klorofil-a, klorofil-c, dan fukoxantin (*Fucoxanthin*).



Gambar 10. Dua spesies silicoflagelata, *Dictyocha speculum* (kiri) dan *Dictyocha fibula* (kanan). (Photo credit: The Phytoplankton Encyclopaedia Project/UBC)

2.1.2A.4 Diatom. Memiliki setidaknya 14.008 spesies (algaebase.org), kelompok diatom merupakan kelompok Protofita terbesar yang termasuk ke dalam divisi Basilariaofita (*Bacillariophyta*). Diatom juga menjadi kelompok Protista terindah karena menyerupai ornamen kaca berukuran mikro, terbuat dari silikon dioksida (Gambar 11).

Gambar 11.
Beragam morfologi
Diatom yang
memiliki rangka
silika (Photo credit:
Henry Norman)



2.1.2A.5 Dinophyta. Kelompok ini lebih dikenal sebagai Dinoflagelata (Dinoflagellates), yang memiliki 3.286 spesies laut. Dinoflagelata memiliki beragam pigmen fotosintesis yaitu klorofil-a, klorofil-c, xantofil (*xanthophyll*), dan karoten (*carotene*).

Gambar 12.
Dinoflagelata.
(Photo credit:
Encyclopedia of Life)



Adaptasi Fitoplankton

Adaptasi struktur fitoplankton agar dapat bergerak secara vertikal dan tidak tenggelam dapat dibagi ke dalam 4 kelompok (Gran 1912; Sverdrup *et al.*, 1942): 1) tipe kantung (*bladder*), contoh: *Coscinodiscus*; 2) tipe jarum atau rambut, contoh: *Rhizosolenia* dan *Thalassiothrix*; 3) tipe pita, contoh: *Fragillaria* dan *Climacodium*; dan 4) tipe bercabang, contoh: *Chaetoceros* dan *Corethron*.

2.1.2B Zooplankton

Zooplankton adalah hewan yang hidup sebagai plankton. Berdasarkan fase hidup, ada dua macam zooplankton: holoplankton yang seluruh siklus hidupnya bersifat planktonik, contohnya adalah protozoa, dan meroplankton yang sebagian dari siklus hidupnya sebagai plankton, misalnya larva ikan atau larva hewan lainnya. Berdasarkan ukuran, zooplankton terbagi atas dua kelompok besar, yaitu protozooplankton, meliputi nanoplankton dan mikroplankton yang merupakan ukuran protozoa secara umum, serta metazooplankton yang meliputi mesoplankton, makroplankton, hingga megaplankton.

2.1.2.B.1 Protozoa. Kelompok protozoa merujuk pada organisme mikroskopis non-fotosintesis yang melalui seluruh siklus hidupnya sebagai plankton (holoplankton). Sebagian spesies protozoa sebelumnya dimasukkan ke dalam kelompok protista karena ketidakjelasan status. Manakala spesies tertentu dapat dikelompokkan ke dalam hewan bersel satu, maka dimasukkan ke dalam kelompok protozoa. Protozoa bersifat parasit sebagian atau total. Tiga kelompok protozoa yang akan dibahas di buku ini memiliki jenis non-parasit, yang hidup di laut sebagai plankton maupun bentos yang menempel di tumbuhan, makroalga, atau cangkang hewan.

2.1.2B.1.1 Foraminifera. Hampir setengah dari biota yang disebut protozoa merupakan foraminifera. Kelompok ini umumnya berupa amuba bercangkang kalsium karbonat atau butiran pasir yang hidup di laut (Gambar 13). Untuk membentuk cangkang kalsium karbonat, kelompok foraminifera menggunakan karbon yang terlarut di air yang sebagian besar berasal dari serapan karbon di atmosfer. Dengan demikian kelompok plankton ini sangat penting dalam menurunkan konsentrasi karbondioksida di atmosfer melalui mekanisme *biological pump* yang menyimpan karbon di dasar laut dalam bentuk cangkang foraminifera. Diketahui terdapat setidaknya 8.500 spesies laut dari Foraminifera (WoRMS, Juli 2015).



Gambar 13. Tiga spesies Foraminifera ditemukan di perairan terumbu karang dangkal di Samudra Pasifik: *Peneroplis planatus* (kiri), *Amphistegina lessonii* (tengah), dan *Laevipeneroplis* sp. Warna-warni Foraminifera berasal dari alga simbiotik yang hidup di dalam cangkangnya. Sebagaimana karang, Foraminifera juga dapat mengalami pemutihan (*bleaching*) saat kenaikan suhu air laut melampaui titik toleransi alga yang memberi warna Foraminifera. (Photo credit: Pamela Hallock/University of South Florida, Text credit: Smithsonian Institute).

2.1.2B.1.2 Radiozoa. Filum Radiozoa lebih dikenal sebagai kelompok Radiolaria yang hidup di laut dan sebagian besar merupakan plankton, memiliki penyebaran yang umum baik horizontal maupun vertikal. Kelompok radiozoa juga membentuk cangkang, namun berbeda dengan foraminifera yang bercangkang kapur, radiolaria bercangkang silika (Gambar 14). Cangkangnya yang kuat membuat kita menemukan banyak fosil radiolaria berumur sangat tua, yang menunjukkan kelompok ini sudah ada sejak zaman purba. Filum ini memiliki 429 spesies laut (WoRMS, Juli 2015). Foraminifera dan radiolaria menjadikan bakteri, detritus, dan protozoa lainnya sebagai makanan.

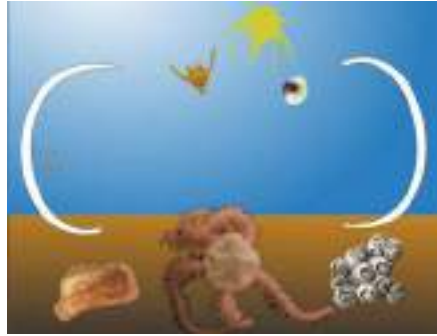
Gambar 14.
Berbagai jenis
Radiolaria. (Photo
credit: Wim van
Egmond)



2.1.2B.1.3 Ciliophora. Pada umumnya orang lebih mengenal kelompok siliata dalam mengidentifikasi filum Ciliophora, karena filum ini memiliki silia yang berguna untuk membantu bergerak (*locomotion*). Bentuk umum dari siliata adalah seperti corong yang terbuat dari *coccolith* dengan silia di bagian yang terbuka, untuk membantu menangkap makanan berupa bakteri atau protozoa lainnya. Sebagian dari kelompok siliata juga ada yang berupa parasit. Teridentifikasi sebanyak 2676 spesies laut dalam filum ini (WoRMS, Juli 2015).

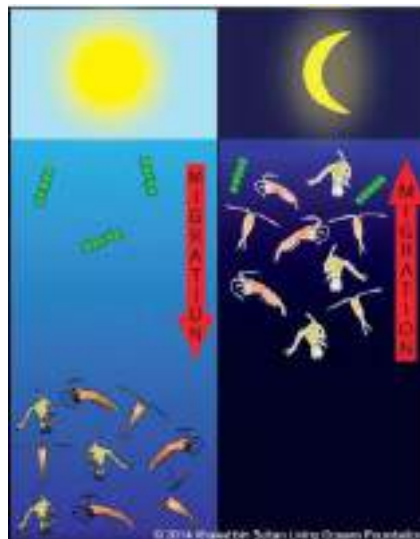
2.1.2B.2 Meroplakton

Umumnya, larva ikan bersifat planktonik karena tidak mampu melawan arus. Dengan cara ini, larva ikan dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain sesuai arah arus. Setelah mampu melawan arus pada fase juvenil atau setelah dewasa, ikan menjadi nekton. Larva karang juga bersifat planktonik, mengikuti arus untuk mendapatkan tempat yang cocok untuk hidup. Karang hidup menetap pada substrat keras, sehingga masa larva planktonik menjadi masa yang penting untuk kelangsungan hidupnya. Ketika menemukan habitat yang cocok, larva karang akan menempel pada substrat dan tinggal di situ untuk seterusnya (Gambar 15). Larva moluska dan insekta juga memiliki pola serupa, setelah hidup di kolom air mengikuti arus, apabila menemukan habitat yang cocok akan turun dari kolom air untuk hidup di atas substrat (bersifat demersal). Larva yang bersifat planktonik kemudian berubah menjadi nekton atau bentos saat juvenil atau dewasa termasuk meroplankton.



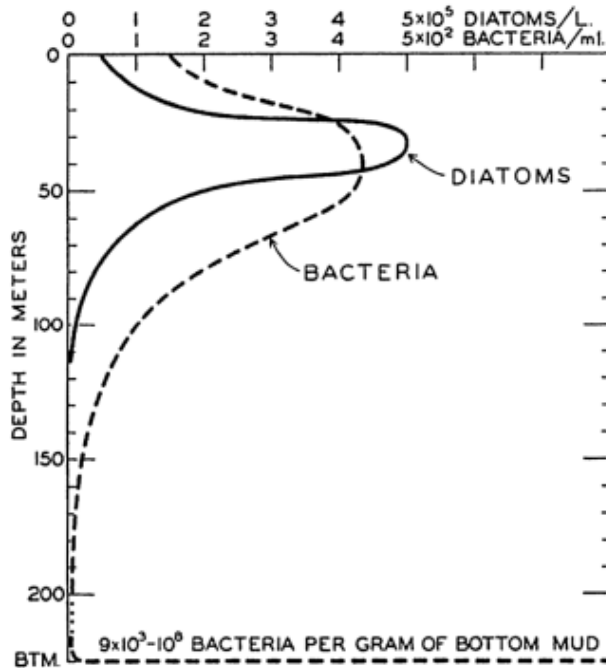
Gambar 15. Meroplankton adalah plankton yang melewati masa planktonik pada sebagian dari siklus hidupnya. Diawali dari telur (kiri), menjadi plankton pada fase larva (dapat hingga fase juvenil), dan hidup sebagai bentos saat dewasa. (Photo credit: Eike Stübner/UNIS)

Kendati plankton secara umum tidak mampu melawan arus, tetapi sebagian plankton memiliki kemampuan untuk melakukan migrasi vertikal. Misalnya, zooplankton yang mampu melakukan migrasi vertikal harian. Pada siang hari zooplankton akan turun ke kolom air di bawah permukaan untuk menghindari predasi atau dimangsa. Sebaliknya, pada malam hari zooplankton akan naik ke permukaan laut untuk memakan fitoplankton yang melimpah sebagai hasil fotosintesis di siang hari. (Gambar 16).



Gambar 16. Migrasi vertikal harian zooplankton. Siang hari zooplankton bermigrasi ke kedalaman menjauhi populasi fitoplankton di permukaan untuk menghindari predator (kiri), sedangkan pada malam hari zooplankton bermigrasi ke arah permukaan untuk mengkonsumsi fitoplankton yang melimpah sebagai hasil produksi di siang hari. (Photo credit: Khaled bin Sultan/Living Oceans Foundation).

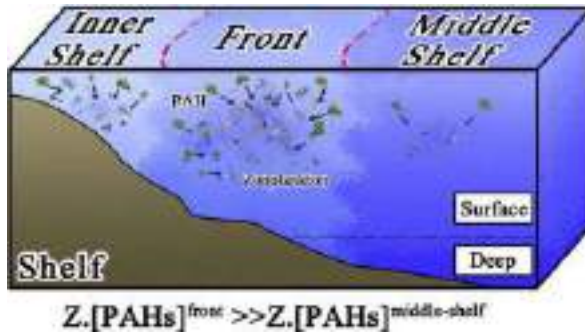
Plankton dapat ditemukan di mana pun di dalam kolom air dengan kelimpahan yang berbeda. Zooplankton menjadi predator bagi fitoplankton sehingga keberadaannya mengikuti keberadaan fitoplankton yang membutuhkan sinar matahari dan nutrisi untuk melakukan fotosintesis sehingga secara vertikal kelimpahannya akan maksimal pada kolom mendekati permukaan laut dan berkurang seiring menurunnya penetrasi cahaya. Kelimpahan fitoplankton tidak maksimal pada permukaan laut karena intensitas cahaya yang sangat tinggi dapat mengganggu proses fotosintesis. (Gambar 17).



Gambar 17. Secara vertikal, kelimpahan diatom tertinggi di pesisir California terjadi pada kedalaman sekitar 30 m di bawah permukaan laut mengikuti kedalaman untuk kelimpahan puncak fitoplankton.

Sedangkan secara horizontal, kelimpahan fitoplankton tinggi pada area dengan zat hara tinggi. Umumnya kita mengukur konsentrasi klorofil-a di permukaan laut untuk mengetahui keberadaan fitoplankton yang melimpah. Secara lintang bumi, nutrisi banyak terakumulasi di lintang tinggi mendekati daerah Kutub Utara dan Kutub Selatan, karena banyaknya daerah *upwelling* yang membawa air laut dalam yang kaya akan unsur hara. Akibatnya, produktivitas di perairan ini juga sangat tinggi pada saat tersedia cahaya matahari pada musim panas yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis.

Beberapa lokasi dengan kelimpahan nutrisi tinggi adalah estuari atau muara sungai, daerah *upwelling*, *front*, dan area gunung laut. Estuari atau muara sungai memiliki zat hara yang tinggi akibat masukan dari daratan melalui sungai. Daerah umbalan (*upwelling*) adalah daerah di mana air dari laut dalam yang kaya akan nutrisi naik ke permukaan. *Front* adalah daerah pertemuan dua massa air yang berbeda (Hung *et al.*, 2014) yang menyebabkan terjadinya baji laut di mana massa air yang lebih berat akan mengarah ke bawah massa air yang lebih ringan. Plankton yang berada di permukaan massa air yang lebih berat membutuhkan sinar matahari untuk fotosintesis atau memangsa fitoplankton yang berada di dekat permukaan sehingga akan naik ke arah permukaan laut memperkaya plankton dari massa air yang lebih ringan yang berada di dekat permukaan laut (Gambar 18). Gunung laut merupakan struktur vertikal yang ada di dasar laut yang menghalangi arus horizontal, menyebabkan arus dari dasar laut yang kaya akan nutrisi berbelok ke arah atas menuju permukaan membentuk *upwelling*.



Gambar 18.
Front memiliki kelimpahan yang lebih besar daripada massa air di sekitarnya (Credit: Hung et al. 2014)

Selain cahaya dan nutrien, kelimpahan fitoplankton juga ditentukan oleh suhu dan salinitas. Pola kelimpahan berdasarkan suhu biasanya mengikuti pola cahaya karena suhu banyak dipengaruhi oleh penetrasi cahaya matahari. Salinitas juga berperan dalam distribusi kelimpahan fitoplankton.

Kompetisi dan predasi merupakan dua faktor biotik utama yang menentukan distribusi kelimpahan fitoplankton karena mempengaruhi pertumbuhan dan tingkat kematian fitoplankton. Fitoplankton memiliki kemampuan yang berbeda saat berkompetisi untuk menggunakan nutrien. Sebagai contoh, dua genus diatom yaitu *Asterionella* dan *Cyclotella* memiliki pertumbuhan yang tinggi sebagai populasi tunggal, tetapi saat berada di tempat yang sama mereka akan berkompetisi dan keduanya memiliki laju pertumbuhan yang rendah (Levinton, 2014). Pada saat fitoplankton melimpah, akan diikuti oleh zooplankton yang melimpah karena mengonsumsi fitoplankton. Selanjutnya populasi fitoplankton akan menurun akibat dikonsumsi zooplankton.

Sebagai organisme autotrof, fitoplankton berfotosintesis yaitu menggunakan karbondioksida dan zat hara untuk menghasilkan oksigen dan gula. Karenanya fitoplankton berperan sebagai pereduksi karbon di atmosfer dan penghasil oksigen dunia, di samping tentunya sebagai bahan makanan bagi organisme perairan yang lain. Produktivitas fitoplankton dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan dan apabila lingkungan tidak mendukung dapat menyebabkan jumlah individu atau kelimpahannya menurun.

Meski berukuran sangat kecil, plankton khususnya fitoplankton menyumbang setidaknya setengah dari oksigen dunia. Hal ini dikarenakan permukaan laut mendominasi permukaan Bumi sehingga memiliki luasan yang besar dalam menyerap karbondioksida untuk digunakan dalam fotosintesis yang menghasilkan oksigen yang dilepas ke atmosfer. Walaupun produktivitas primer per individu per luasan area rendah, namun karena sebagian besar permukaan laut berupa laut lepas yang miskin nutrien, produktivitas kumulatifnya menjadi besar karena siklus hidup fitoplankton yang singkat. Karenanya dibandingkan daratan, untuk menghasilkan jumlah oksigen yang sama dengan yang dihasilkan di daratan, laut hanya membutuhkan biomassa yang kecil namun menghasilkan banyak oksigen karena siklusnya yang cepat.

Peran Plankton dalam Produksi Perikanan dan Perubahan Iklim

A. Plankton dalam Perikanan Tangkap

Dalam rantai makanan, fitoplankton sebagai produsen primer menempati posisi dasar, yang sangat menentukan kondisi tingkat konsumen di atasnya yang mengakibatkan efek korelasi positif. Pada daerah dengan kelimpahan fitoplankton tinggi akan diikuti dengan kelimpahan zooplankton yang tinggi, yang selanjutnya akan menarik kehadiran ikan pemakan zooplankton dan berefek pada meningkatnya kelimpahan konsumen di tingkat yang lebih tinggi. Karenanya, untuk mencari daerah penangkapan ikan (*fishing ground*), seringkali digunakan keberadaan fitoplankton sebagai indikator. Secara teknis, karena semua fitoplankton memiliki pigmen klorofil-a yang lebih mudah dideteksi secara teknologi, maka penentuan daerah penangkapan ikan berbasis teknologi mendasarkan pada konsentrasi klorofil-a.

Kementerian Kelautan dan Perikanan melalui Balai Riset Observasi Laut memproduksi Peta Prakiraan Daerah Penangkapan Ikan (PPDPI) secara reguler, untuk membantu nelayan mempermudah mencari daerah dengan potensi ikan yang tinggi. PPDPI dapat diunduh secara gratis di situs daring Balai Riset Observasi Laut.

B. Plankton dalam Akuakultur dan Pemanfaatan Lainnya

Plankton mempunyai peranan penting dalam rantai makanan. Hal yang sama juga berlaku dalam kegiatan akuakultur. Ketersediaan plankton menjadi kunci utama keberhasilan produksi benih. Fitoplankton dari kelompok Diatomae (*Skeletonema* sp., *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., *Nitzhia* sp.) dan kelompok Chlorophyceae (*Chlorella* sp., *Nannocloropsis* sp.) serta zooplankton (*Artemia* sp., *Rotifera* sp., *Daphnia* sp., *Moina* sp) banyak dibudidayakan untuk memenuhi kebutuhan pakan larva pada pembenihan baik ikan, udang, maupun kekerangan.

Selain memenuhi kebutuhan akuakultur, fitoplankton banyak dikembangkan untuk mendapatkan biomassa yang diperlukan dalam bioteknologi pangan, kesehatan, kosmetik, dan energi alternatif (*Spirulina* sp., *Chlorella* sp., *Arthospira* sp., *Euglena gracillis*, *Dunaliella* sp., *Botryococcus* sp.).

Gambar 19 (kiri).
Kegiatan budidaya
fitoplankton skala
laboratorium

Gambar 20. (kanan)
Budidaya Spirulina
skala massal
untuk memenuhi
kebutuhan industri
kosmetik dan
kesehatan





Meskipun memiliki berbagai jenis plankton, Indonesia masih mengalami ketergantungan terhadap penyediaan pakan alami *Artemia sp.*, yang sampai saat ini harus diimpor dalam bentuk telur dorman (kista). Laporan pada tahun 2016 menunjukkan volume impor kista *Artemia* mencapai 40 ton (mongabay.co.id). Ditemukannya spesies endemik, *Phronima suppa*, di daerah Suppa (Pinrang, Sulawesi Selatan) pada tahun 2014 diharapkan mampu memenuhi kebutuhan pakan untuk menggantikan *Artemia sp.*

Gambar 21 (Kiri).
Suplemen kesehatan
berbentuk tablet dari
bahan *Spirulina sp.*

Gambar 22 (Kanan).
Artemia sp. dewasa

C. Plankton Sebagai Penyerap Karbon

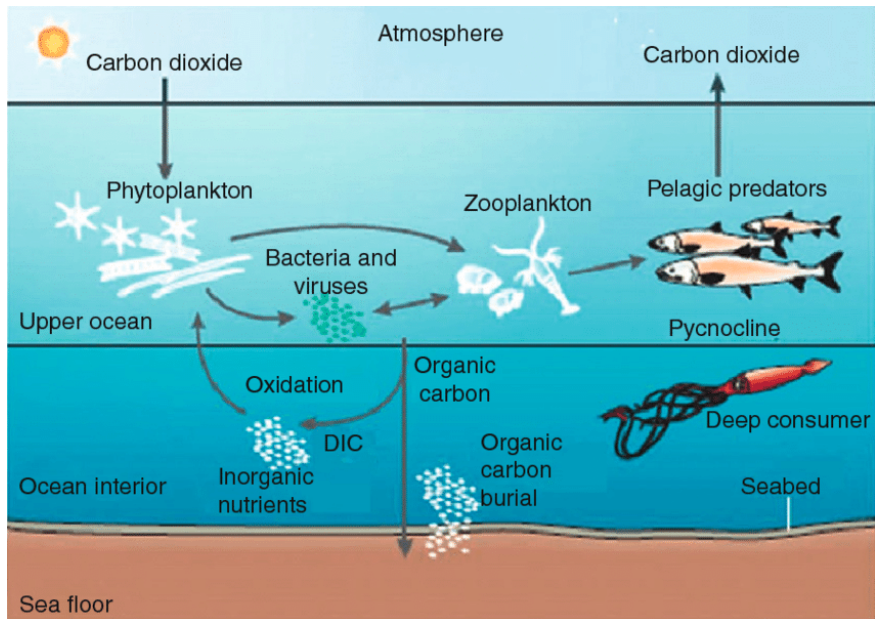
Seiring dengan meningkatnya konsentrasi karbon di atmosfer yang menyebabkan perubahan iklim global, manusia berupaya untuk menurunkan konsentrasi karbon di atmosfer. Reboisasi dan penghijauan merupakan upaya manusia untuk meningkatkan kemampuan pepohonan dan tanaman menyerap karbondioksida melalui proses fotosintesis. Sesungguhnya, laut juga memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap karbondioksida dari atmosfer melalui fotosintesis oleh fitoplankton. Masalahnya, dalam waktu singkat, karbon di atmosfer yang diserap dalam waktu singkat akan dilepas kembali ke atmosfer sehingga tidak berfungsi menurunkan karbon di atmosfer.

Hal ini berbeda dengan kinerja pohon dalam menyerap karbon dari atmosfer. Ketika pohon menggunakan karbondioksida untuk fotosintesis, hasilnya berupa unsur organik akan disimpan di batang pohon dan terakumulasi. Karbon akan tetap berada di pohon sepanjang pohon tidak dimanfaatkan, sehingga hutan merupakan penyimpan karbon yang baik. Sebaliknya, ketika fitoplankton menggunakan karbondioksida untuk menghasilkan bahan organik melalui fotosintesis, bahan organik tersebut akan disimpan di dalam tubuh fitoplankton. Secara biologi ada dua kemungkinan yang terjadi, yaitu fitoplankton dimangsa atau mati karena siklus hidupnya yang singkat sehingga karbon kembali dilepas ke atmosfer melalui respirasi dan dekomposisi (Gambar 23).

Untuk itu perlu dicari cara untuk menyimpan karbon dari atmosfer di laut lebih lama. Laut memiliki dua karakteristik utama yang dapat

membuatnya menjadi *carbon sink* atau *carbon trap*, yaitu stratifikasi suhu dan arus Eddy. Massa air yang berbeda akan sulit untuk bersatu. Air laut memiliki sifat suhu yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Semakin jauh dari energi matahari, suhu air semakin dingin. Hal ini juga didukung oleh sifat massa air dingin yang lebih berat akan berada di bawah massa air yang lebih hangat. Dengan demikian, air laut dalam bersuhu sangat dingin dan dengan adanya stratifikasi suhu maka massa air dingin ini akan sulit bercampur dengan massa air di atasnya. Kolom air ini menjadi tempat yang ideal untuk memerangkap karbon dari atmosfer apabila kita bisa ‘mengirim’ karbon dari atmosfer ke laut dalam.

Caranya adalah dengan ‘Pompa Biologis’ (*biological pump*), yaitu memanfaatkan kemampuan fitoplankton mengubah karbondioksida menjadi bahan organik yang disimpan di dalam tubuhnya (Gambar 23). Permasalahannya adalah bagaimana caranya mendapatkan fitoplankton yang sangat banyak kemudian mengirimnya dengan cepat ke laut dalam untuk menghindari pelepasan karbon kembali ke atmosfer melalui pemangsaan dan dekomposisi. Untuk mendapatkan fitoplankton yang banyak, dibutuhkan sinar matahari yang cukup dan nutrisi yang tinggi di laut lepas yang dalam.



Gambar 23. Skematik absorpsi karbondioksida dari atmosfer dan penyimpanan karbon di laut dalam melalui mekanisme biologis yang disebut pompa biologi atau *biological pump*. (Gambar modifikasi dari Falkowski and Oliver (2007). Reid *et al.* 2009)

Walaupun tidak banyak, ada lokasi-lokasi di laut lepas yang tinggi nutrisi, namun produktivitas primernya rendah. Hal ini karena untuk proses fotosintesis, diperlukan *trace element* berupa besi. Sumber dari besi adalah vulkanik, sehingga umumnya lokasi kaya nutrisi di pesisir produktivitas primernya juga tinggi. Laut lepas jauh dari sumber besi sehingga walaupun sinar matahari dan nutrisi tinggi tersedia, fotosintesis tidak terjadi dengan

melimpah. Untuk mengatasi hal ini, salah satu upaya adalah menambah besi secara manual ke area fotosintesis.

Lalu setelah berhasil memproduksi banyak fitoplankton, bagaimana mengirimnya secara cepat ke laut dalam? Arus Eddy adalah salah satu alternatif yang baik. Arus memutar ini akan membawa apapun yang masuk dalam pusarannya ke bawah. Untuk itu upaya memproduksi fitoplankton yang tinggi dilakukan di lokasi dekat arus Eddy yang juga membantu untuk mencegah tersebarnya fitoplankton. Arus Eddy membantu fitoplankton yang melimpah turun melewati stratifikasi dan menyimpan karbon di laut dalam selama ratusan tahun sebelum muncul kembali ke permukaan laut melalui mekanisme arus termohalin.

Ancaman

Fitoplankton jenis tertentu, seperti *dinoflagelata Karenia*, memproduksi toksin pada saat terjadi ledakan populasi yang dikenal dengan istilah *red tide* atau pasang merah (Gambar 24), dikenal juga dengan istilah HABs (*harmful algal blooms*). Toksin yang dihasilkan dapat merusak fungsi saraf yang menyebabkan kelumpuhan atau membuat iritasi jaringan insang atau paru-paru yang mengganggu pernafasan ikan dan vertebrata lainnya termasuk manusia. Karena itu ikan atau biota laut lainnya yang mati di lingkungan yang mengalami HABs tidak boleh dikonsumsi. Jenis dinoflagelata lain yang juga diketahui menghasilkan toksin yang dapat mematikan secara tidak langsung adalah *Alexandrium* dan *Gambierdiscus*. Adapula diatom yang menghasilkan toksin diantaranya *Pseudo-nitzschia*.



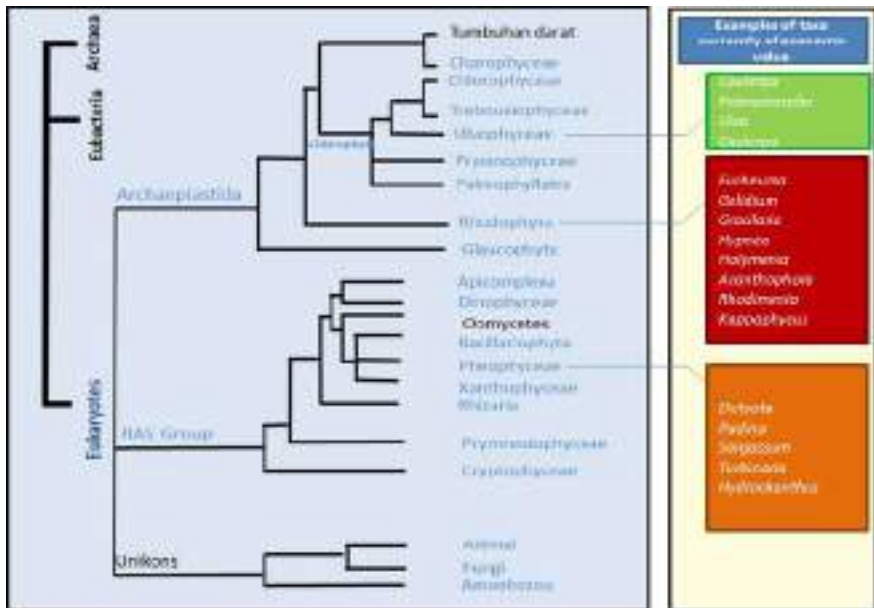
Gambar 24. Pasang merah (*red tide*). Melimpahnya populasi fitoplankton yang menghasilkan senyawa toksik dapat menyebabkan kematian massal ikan di pantai. (Photo credit: Fisheries Research Division, Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center)

2.1.3 Makroalga (Rumput Laut)

Rumput laut (*seaweeds*) merupakan istilah yang telah dikenal secara umum untuk makroalga. Disebut makroalga karena jenis ganggang laut kasat mata ini memiliki variasi ukuran mulai dari beberapa milimeter hingga lebih dari tiga meter. Kita mengenal istilah lain seperti makrofita (*macrophytes*) dan alga multiseluler. Rumput laut juga merupakan organisme *fotoautotrof* yang tumbuh dengan mengambil nutrisi di perairan laut dan mampu berfotosintesis. Sehingga dalam suatu ekosistem perairan biota ini jelas memiliki peran sebagai produsen primer.

Jenis dan Klasifikasi

Klasifikasi rumput laut didasarkan bukan hanya pada perbedaan strukturnya namun juga melalui pigmen yang dominan dari beberapa kombinasi pigmen yang berbeda (Gambar 25)



Gambar 25. Filogenetik analisis makroalga yang banyak ditemukan di perairan Indonesia berdasarkan pigmen fotosintesis: hijau/*klorofita* (klorofil a, b, dan karatenois); merah/*rhodophyta* (klorofil a, fikobilin (fikosianin, fikoeritrin, karatenoid) dan coklat/*phaeophyceae* (klorofil a, c, karatenoid jenis *fucoxantin* dan turunannya). (Sumber: dimodifikasi dari Stengel *et al*, 2011.)

Morfologi

Rumput laut merupakan organisme eukariot dan kompleks tetapi tidak memiliki spesialisasi struktur dan reproduksi seperti pada tanaman yang hidup di darat (*land plant*). Rumput laut merupakan bentuk primitif tanaman yang tidak memiliki daun, batang, dan akar sejati. Secara morfologi, bagian yang tampak terlihat dari rumput laut dinamakan yang dinamakan *thallus* dengan bagian-bagian yang disebut *holdfast* (seperti akar), *stipe* (seperti batang), dan *blade* (seperti daun). Bentuk *thallus* ada yang berupa filamen, silinder, gelembung (*bubble/circle*), lembaran (*bladed macroform*). *Thallus*

makroalga dapat dikategorikan berdasarkan struktur dan bentuknya antara lain *filamentous*; *siphonous*; *parenchymatous*, dan *pseudoparenchymatous*. Selain itu makroalga juga ada yang tersusun dari zat yang dikenal dengan *calcareous macroalgae*. Makroalga jenis ini mempunyai kemampuan untuk menyimpan kalsium karbonat (CaCO_3) di sekitar maupun di dalam thallus. Perlu diketahui kalsium aragonit ekstraseluler dalam jumlah tinggi menjadi penyumbang karbonat terbesar di lautan. *Halimeda* sp., *Padina* sp., dan *Galaxaura* sp. merupakan contoh jenis makroalga berkapur yang hidup di wilayah tropis khususnya pada ekosistem terumbu karang.

Diversifikasi

Ekspedisi Sibolga (1899-1990) merupakan ekspedisi yang menjadi rujukan beberapa literatur terkait dengan keberadaan 555 spesies rumput laut yang ditemukan di perairan Indonesia. Database lainnya yang juga dapat digunakan sebagai rujukan untuk mengenal spesies rumput laut di Indonesia adalah *checklist* yang disusun oleh Prudhomme dan Wanda (2014) untuk 138 jenis coklat (*phaeophyceae*) dan 201 jenis hijau (*chlorophyta*). Untuk *checklist* rumput laut merah, Prudhome dan Wanda (2014) mencatat dengan total jumlah 562. Meski jumlahnya banyak namun baru beberapa spesies rumput laut saja yang sudah dibudidayakan dan dimanfaatkan secara optimal, antara lain jenis *Kappaphycus* sp., *Euचेuma* sp., dan *Gracilaria* sp. Sayangnya, unsur konservasi dan preservasi hingga saat ini belum menjadi bagian dari kebijakan pengelolaan makroalga di Indonesia.

Habitat dan Musim Tumbuh

Tingkat kelimpahan dan keanekaragaman jenis makroalga sangat dipengaruhi oleh kompleksitas habitat lingkungan tumbuhnya makroalga, tipe dasar perairan, kondisi hidrografis musim dan kompetisi jenis. Makroalga tumbuh berlimpah di wilayah pesisir yang mempunyai terumbu (*reef flat zone*), terutama di wilayah terumbu karang yang menghadap daratan (*back reef*). Pertumbuhan dan kelangsungan hidup makroalga juga ditunjang oleh kestabilan substrat sebagai tempat tumbuh. Daerah dengan paparan yang terlihat dari batuan dasar atau endapan dangkal yang berumur ratusan bahkan jutaan tahun di permukaan Bumi dan dikenal dengan istilah *outcrop* merupakan tempat yang baik bagi pertumbuhan rumput laut. Seperti yang banyak ditemukan di wilayah pantai Selatan Jawa.

Siklus Hidup

Perkembangbiakan makroalga pada prinsipnya dikenal dalam dua bentuk reproduksi yakni aseksual (vegetatif) dan seksual (generatif), seperti halnya pada mikroalga.

Interaksi Abiotik dan Biotik

Biotik. Herbivora merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan morfologi dan fisiologi rumput laut di wilayah tropis, termasuk di Indonesia. Hal ini berpengaruh pula pada kandungan metabolisme sekunder. Bakteri asosiatif makroalga merupakan komunitas epifit dan endofit yang saat ini hidup bersimbiosis dengan makroalga untuk melindungi permukaan makroalga dari mikroorganisme *biofouling* melalui produksi metabolisme biologi aktifnya. Saat ini mikrobiome makroalga banyak diteliti untuk kepentingan industri komersial.

Abiotik. Respon cahaya matahari memperlihatkan adanya perbedaan respon fotosintesis terhadap tipe pigmen dari makroalga. Fotosintesis makroalga pada umumnya mengikuti kaidah pola diurnal, sebagai contoh kelompok *E.denticulatum* memperlihatkan tingkat pertumbuhan tertinggi pada pencahayaan 12:12 L/D dengan intensitas cahaya sekitar 6000 Lux atau puncak fotosintesis makroalga terjadi sebelum tengah hari. Nutrien terdiri dari makronutrien (Nitrat, Fosfat, Silikat) dan mikronutrien yang berupa mineral dan vitamin dan merupakan faktor pembatas pertumbuhan makroalga. Pergerakan air (pasang, arus dan gelombang, turbulensi) tidak hanya mempengaruhi keberadaan nutrien di perairan namun juga pada ekofisiologi makroalga.

Distribusi dan Persebaran di Indonesia

Indonesia menjadi salah satu produsen global rumput laut kering. Jenis yang diekspor adalah rumput laut budidaya penghasil karaginan (*Kappaphycus* dan *Eucheuma*) serta penghasil agar (*Gracilaria*). Budidaya rumput laut dilakukan di sentra-sentra produksi rumput laut yang tersebar di seluruh pesisir Indonesia seperti Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Jawa Timur, Kalimantan Utara, Maluku, Bali dan Papua. Sementara itu, rumput laut alam persebarannya dipengaruhi oleh karakteristik fisika kimia lingkungan perairan.

Peran Ekologis dan Manfaat Ekonomis Makroalga

Makroalga memiliki peran secara ekologis pada ekosistem pesisir dan manfaat ekonomi yang dapat dibawa pada skala industri.

Peran Ekologis.

Sebagai produsen primer, kelompok makroalga mampu memfiksasi bahan organik dari bahan anorganik dengan bantuan cahaya matahari yang dimanfaatkan langsung oleh hewan herbivora. Produktivitas primer net pada ekosistem makroalga tercatat antara 91 - 552 g C m⁻² yr⁻¹. Makroalga juga memiliki fungsi sebagai organisme hiperakumulator. *Gracilaria* sp. mampu memberikan fungsi bioremediasi yang efisien. Dalam sistem budidaya

terintegrasi atau (*Integrated Multi Trophic Aquaculture* "IMTA"), *Gracilaria* sp. menunjukkan penyerapan nitrogen dan fosfat anorganik, mempertahankan oksigen terlarut (DO) dan mempertahankan kestabilan klorofil.

Manfaat Ekonomi Rumput Laut dari Metabolisme Primer dan Metabolisme Sekunder.

Makroalga menghasilkan senyawa-senyawa metabolit primer dan sekunder yang mengandung manfaat bagi manusia. Senyawa metabolit primer makroalga bahkan menjadi salah satu komoditas unggulan karena kandungan polisakarida tersulfatasi yang disebut dengan senyawa fikokoloid atau hidrokoloid (karagenan, alginat, agar, dan fucoidan akan dibahas dalam bab Bioteknologi). Polisakarida makroalga termasuk makromolekul yang kompleks dan total kandungannya berkisar antara 4-76 persen dari total berat kering.

Masih banyak lagi potensi metabolisme primer makroalga di Indonesia yang masih dapat dimanfaatkan secara optimal untuk pangan (*functional food*) dan non-pangan, seperti industri tekstil, fotografi, kosmetik, farmasi dan nutraceutical karena sifat polisakarida bioaktif dan sifat reologi. Di samping itu, metabolit sekunder makroalga juga mempunyai bioaktivitas yang dapat diisolasi seperti senyawa fenolik, phlorotannins, karotenoid, poliester, dan senyawa halogen.

Apakah Semua Rumput Laut dapat Dijadikan Makanan/Minuman?

Negara-negara seperti Eropa, Amerika, dan Asia Timur sudah lama mengkonsumsi, rumput laut seperti jenis *dulse*, *wakame*, *Ulva* sp. (*sea letuce*), *kombu*, *nori*. Bahkan di Jepang dan Korea rumput laut adalah bahan makanan harian yang wajib ada. Di Indonesia informasi mengenai aspek biologi dan ekologi serta informasi *functional food* dari rumput laut belum banyak ditemukan sehingga pengetahuan tersebut sangat diperlukan untuk selanjutnya dibudidayakan dikembangkan dalam skala industri. Masyarakat lokal pesisir mengkonsumsi beberapa jenis rumput laut yang tumbuh di wilayahnya, seperti contohnya rujak rumput laut yang banyak ditemukan di Bali dan dikenal dengan istilah lokal, "Rujak Bulungan". Rujak Bulungan biasanya menggunakan jenis *Gracilaria* sp. dan *Caulerpa* sp. Jenis anggur laut atau *Caulerpa lentifera* sp. kekerabatan filogenetik memiliki komposisi nutrisi berupa mineral, protein, karbohidrat dan serat kasar yang tinggi, tetapi kadar lemak rendah sehingga dapat dikembangkan sebagai makanan fungsional. Anggur laut dapat dikonsumsi sebagai salad secara mentah maupun melalui proses perebusan hingga matang.

Agar merupakan jenis yang paling populer dan jenis rumput laut yang banyak ditemukan di perairan Indonesia, yaitu jenis *Gracilaria* sp. dan *Gelidium* sp.). Industrinya pertama kali didirikan di Indonesia, bahkan nama agar sendiri berasal dari Indonesia.

Budidaya Rumput Laut di Indonesia

Sejak tahun 1980-an budidaya makroalga penghasil karagenan dan agar sudah mulai dilakukan di Indonesia, dan sejak tahun 2000-an rumput laut menjadi salah satu komoditas unggulan perikanan.

Cotonii = *Kappaphycus* atau *Eucheuma*?

Jumlah produksi secara statistik merujuk pada istilah *E.cottonii* sebagai nama dagang untuk rumput laut atau makroalga penghasil kappa karagenan. Kappa karagenan dihasilkan oleh jenis *Kappaphycus alvarezii* dan *Kappaphycus striatus*. Sementara budidaya di Indonesia tidak hanya jenis *Kappaphycus* sp. namun juga ada jenis *Eucheuma* sp. yang memiliki kandungan karagenan lain yaitu iota- dan beta- karagenin. Jenis karagenan yang dihasilkan dalam dunia industri sangat berpengaruh pada produk yang dihasilkan.

2.1.4 Lamun

Lamun (*seagrass*) merupakan jenis tumbuhan tingkat tinggi dan berbunga (*angiospermae/antohophyta*) yang tumbuh di perairan laut dengan akar rimpang, daun, bunga, dan berbiji tunggal (monokotil) yang sejati. Lamun tumbuh terendam hanya pada ekosistem pesisir dengan kedalaman yang masih dapat dijangkau cahaya matahari (berkisar antara < 90 m) dan masih mendapat pengaruh pasang surut.

Diversitas dan Klasifikasinya

Jenis lamun di Indonesia tidak banyak, hanya sekitar 15 spesies (*Cymodocea rotundata*; *Cymodocea serrulata*; *Enhalus acoroides*, *Halodule pinifolia*, *Halodule uninervis*, *Halophila decipiens*, *Halophila minor*, *Halophila ovalis*, *Halophila spinulosa*, *Syringodium isoetifolium*, *thalassia hemprichii*, *Thalassodendron ciliatum*, *Halophila sulawesii*, *Halophila becarii*, *Ruppia maritima*) dari total 60 jenis lamun dalam 4 suku (*Posidoniaceae*, *Zosteraceae*, *Hydrocharitaceae*, dan *Cymodoceaceae*) dan 15 marga yang sudah diidentifikasi di seluruh dunia.

Siklus Hidup

Perkembangbiakan vegetatif dengan tunas yang berasal dari rimpang (rhizophora) di mana tangkai tangkai yang merayap dan sangat efektif untuk berkembang biak. Sementara perkembangbiakan generatif dengan biji.

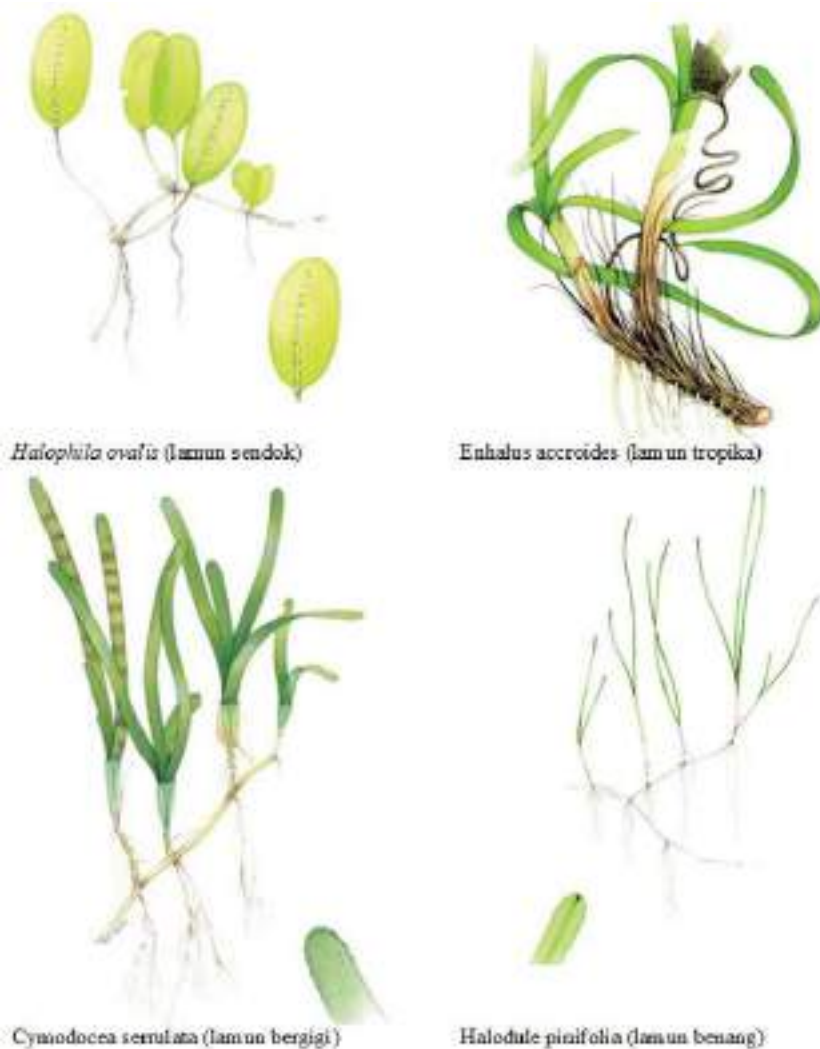
Adaptasi

Adaptasi morfologi lamun salah satunya ditentukan dari kondisi daunnya. Lamun yang hidup di perairan yang sering terkena pemanasan intensif sinar

matahari dan suhu air meninggi lebih banyak berupa varietas yang berdaun kecil. Bentuk daun merupakan salah satu penyesuaian morfologi terhadap lingkungan tempat hidup lamun.

Adaptasi yang berlaku dalam pembentukan varietas berdasarkan kisaran toleransi terhadap panjangnya siang, pasut, curah hujan dan suhu:

1. Varietas dengan kisaran toleransi kecil (*stenobiontik*): sifatnya musiman, berdaun sempit, kerapatan tumbuhnya jarang, habitat hidup di wilayah pasang surut.
2. Varietas dengan kisaran toleransi yang lebar (*euribiontik*): tumbuh sepanjang tahun, berdaun tebal dan lebar, kerapatan tumbuhnya padat, habitat hidupnya di bawah surut terendah dari suatu teluk terlindung.



Gambar 26. Perbedaan morfologi jenis daun lamun : a) *Halophila ovalis* (lamun sendok); b) *Enhalus acoroides* (lamun tropika); c) *Cymodocea serrulata* (lamun bergigi); d) *Halodule pinifolia* (lamun benang). (Credit: Status Lamun 2018)

Distribusi

Dari berbagai sumber yang terangkum secara umum dalam status padang lamun Indonesia 2018, *Enhalus acoroides* (301 lokasi) dan *Thalassia hemprichii* (310 lokasi) adalah spesies-jenis lamun yang sering ditemukan di perairan Indonesia.

2.1.5 Mangrove dan Tanaman Pantai Lainnya

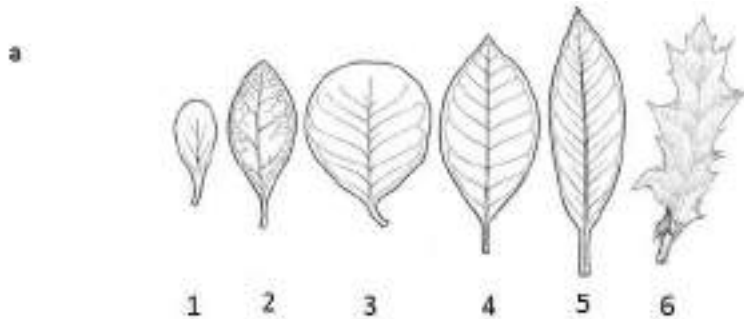
Mangrove merupakan karakteristik dari bentuk tanaman pantai, estuari atau muara sungai, dan delta di tempat yang terlindung daerah tropis dan sub tropis. Macnae (1968) mengenalkan istilah mangrove dari perpaduan dua kata yaitu *mangue* dan *grove*. Di Eropa, ahli ekologi menggunakan istilah mangrove untuk menerangkan individu jenis dan mangal untuk komunitasnya. Hal ini juga dijelaskan bahwa kata mangrove seharusnya digunakan untuk individu pohon sedangkan mangal merupakan komunitas dari beberapa jenis tumbuhan.

Sementara itu, menurut Mastaller (1997) kata mangrove berasal dari bahasa Melayu kuno *mangi-mangi* yang digunakan untuk menerangkan marga *Avicennia* dan yang masih menggunakan istilah tersebut sampai saat ini adalah wilayah bagian timur Indonesia. Tumbuhan mangrove sendiri sering disebut dengan istilah bakau.

Gambar 27
Morfologi

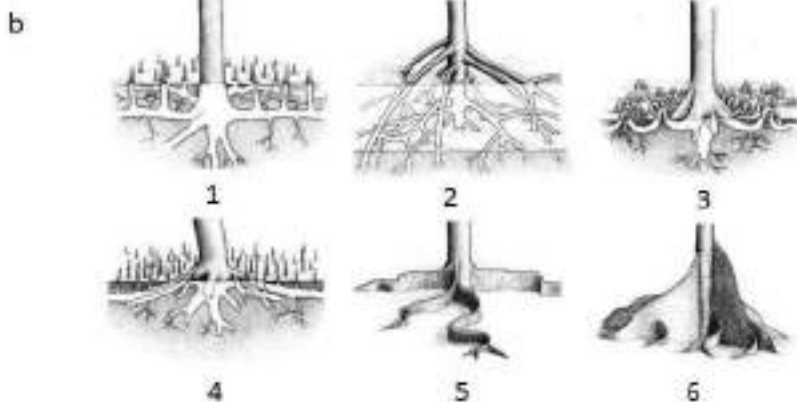
a) Daun mangrove dan tumbuhan asosiasi:

- 1) *Lumnitzera* sp.;
- 2) *Avicennia* sp.;
- 3) *Sonneratia* sp.;
- 4) *Rhizophora* sp.;
- 5) *Bruguiera* sp.;
- 6) *Acanthus* sp.;



b) Akar mangrove:

- 1) *Sonneratia* sp.;
 - 2) *Rhizophora* sp.;
 - 3) *Bruguiera* sp.;
 - 4) *Avicennia* sp.;
 - 5) *Xylocarpus* sp.;
 - 6) *Heretiera* sp.;
- (Credit: Göltenboth et al, 2006)



Tumbuhan mangrove merupakan tumbuhan berkayu (*woody plant*). Watson (1928) mengelompokan jenis mangrove menjadi dua golongan yaitu:

1. Kelompok mangrove sejati (utama) yang terdiri atas jenis tumbuhan yang selama ini kita kenal dengan tumbuhan bakau (*true mangrove*) adalah jenis vegetasi yang selalu hijau, sering disebut dengan mangrove sejati seperti api-api (*Avicennia* spp.), bakau (*Rhizophora* spp.), cengal (*Ceriops* spp.), tancang (*Bruguiera* spp.) dan pedada (*Sonneratia* spp.).
2. Kelompok mangrove ikutan (tambahan) terdiri atas *Excoecaria agallocha*, *Aegiceras* spp., *Scyphyphora hydrophyllacea*, *Lumnitzera* spp., *Oncosperma tigillaria*, *Cerbera manghas*, dan lainnya.

Diversitas dan Klasifikasi

Keanekaragaman jenis tumbuhan yang hidup di hutan mangrove di Indonesia cukup tinggi jika dibandingkan negara lain di dunia. Jumlah jenis tumbuhan mangrove di Indonesia mencapai 89, yang terdiri dari 35 jenis pohon, 5 jenis terna, 9 jenis perdu, 9 jenis liana, 29 jenis epifit, dan 2 jenis parasit (Nontji, 1987).

Wilayah mangrove di Indonesia dicirikan oleh 12 genera tumbuhan mangrove (Soerianegara, 1993), seperti *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Avicennia*, *Xylocarpus*, *Sonneratia*, dan *Excoecaria*. Selain itu juga ditemukan jenis-jenis *Lumnitzera*, *Aegiceras* (Nybakken, 1986; Soerianegara, 1993), *Kodelia*, *Laguncularia*, *Conocarpus*, *Aegialiti*.

Distribusi

Persebaran mangrove di dunia telah dipetakan oleh Deltares (2014). Mangrove tumbuh di wilayah pesisir tropis dan subtropis dengan garis lintang antara 25 derajat Utara hingga 25 derajat Selatan, bahkan species *Avicennia marina* dapat hidup pada lintang 38 derajat. Di Indonesia terdapat 41 jenis pohon mangrove dari 70 jenis yang teridentifikasi saat ini di dunia.

Siklus Hidup

Mayoritas tumbuhan mangrove adalah hermaphrodit dengan bunga sempurna di mana terdapat putik dan benang sari dalam satu bunga. *Rhizophora* sp., *Bruguiera* sp., dan *Sonneratia* sp., termasuk jenis mangrove hermaphrodit. Sekitar 11 persen adalah jenis *monoecious* dengan bunga jantan dan betina terpisah tetapi pada satu tanaman yang sama seperti pada *Nypa*, *Heritiera*, dan *Xylocarpus*. Terdapat kurang lebih 4 persen jenis *dioecious* dengan bunga jantan dan betina pada tanaman yang berbeda misalnya *Laguncularia* dan *Excoecaria*. Proses penyerbukan tanaman mangrove dibantu oleh hewan kecuali *Rhizophora*.

Adaptasi

Tumbuhan mangrove merupakan produk konvergen dari evolusi *angiospermae* yang mampu bertahan hidup dengan beradaptasi dengan lingkungan intertidal. Faktor-faktor yang mempengaruhi tumbuhnya mangrove pada lingkungan intertidal adalah:

1. Struktur daerah fisiografi dibawah pengaruh pasang surut dan perairan bersuhu antara 12 - 32 °C, substrat berlumpur atau mengandung kapur (*substrat calcareous*)
2. Kondisi pantai yang terlindung oleh terumbu karang dengan arus dan gelombang pasang surut yang moderat atau tidak terlalu kuat
3. Hidup pada genangan pasang surut, terbagi dalam lima zonasi pasang surut:
 - a) Tergenang pada saat air pasang rendah : *Rhizophora mucronata*
 - b) Terendam air pasang sedang: *Avicennia* sp. dan *Sonneratia* sp.
 - c) Tergenang oleh pasang tinggi : *Rhizophora* sp.
 - d) Tergenang pada saat pasang lebih tinggi dari normal: *Rhizophora* sp. dan peralihan ke *Bruguiera* sp.
 - e) Tergenang pada musim tertentu ketika pasang tertinggi maksimal: *Bruguiera gymnorhiza* yang bercampur dengan tumbuhan *Acrostichum* sp.
4. Beberapa tumbuhan mangrove mampu hidup pada kondisi dengan salinitas tinggi hingga mencapai kisaran 75 ppt atau dua kali salinitas air laut melalui berbagai pengelolaan fungsi fisiologi dan morfologi untuk mengekskresikan garam.



Gambar 28
Produk hasil ekskresi
kristal garam pada
daunari jenis *Avicennia
germinan* (Photo credit:
Ulf Mehlig/Wikimedia
Commons)

5. Sistem perakaran yang kompleks melalui *aeration root system* atau akar nafas (*Pneumatophores*). *Pneumatophores* membantu tumbuhan mangrove dalam pernafasan mengakses oksigen ketika tumbuhan mangrove tergenang. Selanjutnya kelebihan garam dapat dikeluarkan melalui pori atau kelenjar garam (*salt gland*) yang ada di daun.

Tanaman Pantai

Biodiversitas selain tumbuhan yang membentuk formasi hutan mangrove, tumbuhan pantai juga disusun atas jenis pantai tanaman lain yang terdiri atas formasi tumbuhan merayap seperti *pescaprae* dan formasi tumbuhan berbentuk tegak, *barringtonia*. Tumbuh pantai dan wilayah pesisir Indonesia antara lain:

1. *Ipomea pescaprae*

Tumbuhan *Ipomea pescaprae* tergolong herba kelas magnoliophyta dan ordo solanales. Tumbuhan dengan batang menjalar, berbentuk bulat, berwarna hijau kecoklatan, daun: berbentuk bulat, ujung terbelah, tepi rata, urat daun melengkung, permukaan licin dan bunga berwarna merah muda-ungu serta memiliki buah berbentuk kapsul bundar hingga agak datar. Tumbuhan ini biasanya dimanfaatkan sebagai obat-obatan.

2. Rumput lari-lari (*Spinifex littoreuster*)

Rumput lari-lari dikenal juga dengan istilah rumput gulung atau rumput angin berbentuk seperti landak laut atau bulu babi. Banyak dijumpai pada ekosistem pantai gumuk pasir atau *sand dunes* dengan kondisi perairan laut bersalinitas tinggi dan udara pantai yang sangat kering seperti yang ada di pantai Parangtritis Yogyakarta. Tumbuhan ini masuk dalam kelas Liliopsida dan suku rumput-rumputan (*Poaceae*). Distribusi tumbuhan ini dibantu oleh angin.

3. Malapari (*Pongamia pinnata*)

Dikenal pula dengan sebutan *mempari* dan istilah lokal Nusantara lainnya seperti *bangkongan*, *kepik*, *kranji*, *butis*, dan *berah* merupakan salah satu jenis pohon penghuni pantai, anggota suku Fabaceae (*Leguminosae*). Tanaman yang berbunga sepanjang tahun ini banyak tumbuh di pantai pasir berkarang (ke arah laut) dan bermangrove (ke arah darat).

4. Pandan laut (*Pandanus Odoratissimus*)

Pandan laut merupakan yang dapat tumbuh hingga ketinggian 15 m. Tumbuhan ini biasanya ditemukan pada ekosistem pantai berpasir.

5. Petai Cina (*Leucaena leucocephala*)

Tumbuhan tropis yang banyak digunakan untuk mencegah erosi dan biasanya dipakai sebagai tanaman utama dalam kegiatan reboisasi.

6. Cemara laut (*Casuarina equisetifolia*)

Cemara laut masih memiliki kerabat dekat dengan cemara yang tumbuh

di dataran tinggi atau gunung. Pada ekosistem pantai berpasir, cemara juga dapat tumbuh dengan baik hingga ketinggian 1300 m.

7. Pohon Ketapang (*Terminalia catappa*)
Pohon ketapang merupakan jenis pohon yang hidup di dataran rendah, pantai hingga ketinggian 500 mdpl
8. Pohon Akasia (*Acacia auriculiformis* Cunn. ex Benth., Fabaceae)
9. Pohon Kelapa (*Cocos Nucifera*) dan pohon buah buahan lainnya seperti jambu air (*Eugenia aqua* Burn. F) dan pohon pisang (*Musa paradisiaca*)
10. Di samping tumbuhan di atas terdapat *Barringtonia asiatica* (L.) Kurz (Lecythidaceae), *Calophyllum inophyllum* L. (Guttiferae), *Casuarina equisetifolia* L. (Casuarinaceae), *Hibiscus tiliaceus* L. (Malvaceae), *Melastoma candidum* D. Don (Melastomataceae), *Morinda citrifolia* L. (Rubiaceae), *Ricinus communis* Linn. (Euphorbiaceae), *Scyphiphora hydrophyllacea*, *Sesuvium portulacastrum*(L.) L. (Aizoaceae), *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) vahl (Verbenaceae), dan *Terminalia catappa*.

2.1.6 Karang dan Cnidaria Lainnya

Kelompok biota laut Cnidaria memiliki ciri utama berupa sel penyengat (*stinging cell*) yang disebut *nematosis* dan secara umum berfungsi membantu menangkap makanan hidup di sekelilingnya dan sebagai alat pertahanan maupun menyerang.

Terdapat empat kelompok utama di bawah filum Cnidaria, yaitu Anthozoa (meliputi karang, anemon, dan kipas laut/gorgonia), Hydrozoa (meliputi karang api, hidroid, sifonofor, dan medusa), Scyphozoa (ubur-ubur), dan Cubozoa (ubur-ubur kotak).

2.1.6.1 Karang

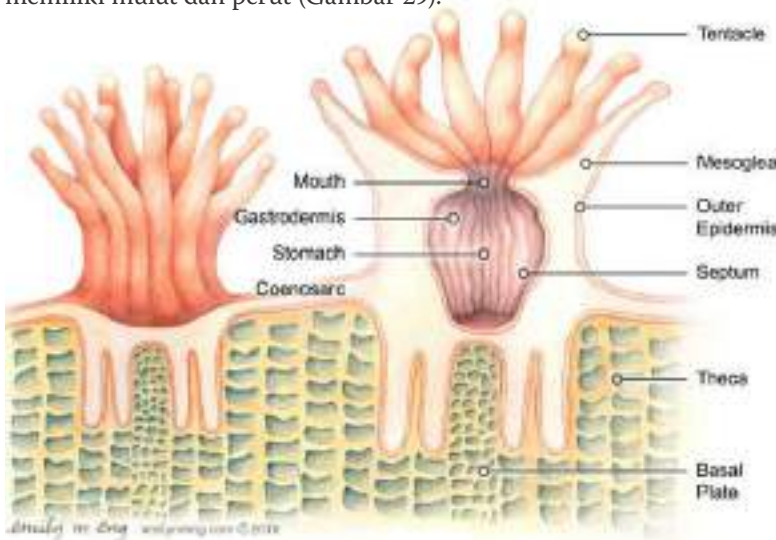
Karang adalah hewan sesil yang hidup menempel pada substrat keras. Secara umum, karang dapat dikelompokkan ke dalam karang keras (*Scleractinia*) dan karang lunak (*Octocorallia*).

2.1.6.1.1 Karang keras

Karang keras (*Scleractinia*) membentuk rangka berbahan kalsium. Pada *Scleractinia*, umumnya *nematosis* muncul ke kolom air di malam hari untuk menangkap plankton sebagai makanan. Hal ini karena pada siang hari sebagian besar karang keras menggantungkan sumber energi (makanan) dari *zooxanthellae*, endosimbion alga uniseluler yang hidup di dalam jaringan karang. Selain

memberikan tempat tinggal, sebagai timbal balik, karang menyediakan nutrisi anorganik untuk proses fotosintesis *zooxanthellae*. Hubungan saling menguntungkan antara *zooxanthellae* dengan inang karang disebut simbiosis mutualisme. *Zooxanthellae* tidak hanya hidup bersimbiosis dengan karang keras, tetapi juga ditemukan bersimbiosis dengan karang lunak, anemon, kima raksasa, dan inang lainnya.

Pada umumnya karang keras hidup sebagai koloni, hanya beberapa jenis hidup secara soliter, seperti *Fungia* dan *Leptopsammia pruvoti*. Secara individu, hewan karang disebut polip. Sebagaimana hewan pada umumnya, karang memiliki mulut dan perut (Gambar 29).



Gambar 29. Struktur anatomi karang keras. (Credit: Emily M. Eng)

Berdasarkan bentuk pertumbuhannya, secara umum karang terdiri dari: karang masif, karang meja, karang bercabang, karang berbentuk daun, karang kolomnar, karang penutup, dan karang soliter. Bentuk pertumbuhan karang merupakan salah satu parameter utama dan standar dalam pemantauan kesehatan dan keragaman terumbu karang (Gambar 30).



Gambar 30. Bentuk tumbuh karang keras. (Photo credit: reefdivers.io)

Karang keras pada umumnya memiliki zooxanthellae karena diperlukan energi yang besar, yang disediakan oleh zooxanthellae, untuk membentuk rangka yang kuat yang menyusun terumbu. Karang yang mampu membangun terumbu disebut karang hermatipik sedangkan karang yang tidak membentuk terumbu disebut karang ahermatipik. Umumnya karang keras adalah hermatipik sedangkan karang lunak adalah ahermatipik. Walaupun ada karang lunak yang memiliki zooxanthellae, umumnya mereka tidak membentuk terumbu (ahermatipik).

Karang berkembang biak dengan cara seksual dan aseksual. Secara seksual, umumnya bersifat eksternal dan massal (*broadcast spawning*) di mana unik waktunya untuk setiap spesies, namun ada pula yang bersifat *internal fertilization* (*brood spawning*). Genus *Pocillopora* dari keluarga Pocilloporidae diketahui melakukan *broadcast spawning* mengikuti penandaan bulan purnama. Secara aseksual, karang bereproduksi melalui berbagai cara seperti bertunas (*budding*, misalnya *Porites lobata*) dan potongan koloni (*fragmenting*, misalnya *Acropora cervicornis*, Gambar 31)

Gambar 31.
Fragmen karang
staghorn (*Acropora
cervicornis*) telah
tumbuh menjadi
koloni baru.
(Photo credit:
Pol Bosch)



Fase larva karang merupakan fase planktonik sehingga termasuk dalam kelompok meroplankton. Larva karang memanfaatkan arus untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain untuk menemukan substrat yang cocok sebagai habitat. Mereka mengenali habitat yang cocok dari sinyal kimiawi yang berasal dari koloni karang di lokasi tersebut.

Karang hermatipik hidup di pesisir pada ekosistem terumbu karang sedangkan karang ahermatipik ditemukan di laut yang lebih dalam karena tidak bergantung pada fotosintesis sebagai penyedia energi utama. Karang ahermatipik utamanya mendapat energi dari memangsa zooplankton menggunakan sel penyengat.

Komunitas karang keras membentuk terumbu yang berfungsi sebagai habitat bagi banyak biota laut. Terumbu karang yang sehat menyediakan banyak ruang dan makanan untuk berbagai jenis biota terumbu karang. Bahkan karang

mati memiliki fungsi layanan ekologis dengan menyediakan tempat bagi berbagai jenis invertebrata dan ikan. Suatu studi menunjukkan bahwa hanya untuk kelompok dekapoda, pada karang *Pocillopora verrucosa* yang telah mati ditemukan 235 individu yang terdiri dari 7 suku, 11 marga, dan 35 spesies (Madduppa *et al.*, 2019).

Ancaman

Koloni karang memiliki banyak predator. Bintang laut *Acanthaster planci* (Gambar 32.A) atau *The Crown of Thorns Seastar* (COTS), merupakan predator berukuran besar yang merupakan salah satu ancaman besar bagi kelestarian komunitas karang, terutama pada saat terjadi ledakan populasi. Di samping predator besar, keong laut kecil dari kelompok gastropoda (filum moluska)



Gambar 32. Predator karang keras. (A) *Crown of Thorns Starfish* (COTS, *Acanthaster planci*) adalah predator besar dan perusak biologis terbesar bagi komunitas karang. Bagian putih di bagian atas karang *Porites lobata* adalah bagian yang telah kehilangan polipnya akibat dimakan oleh COTS. (Photo credit: Rita Rachmawati), dan (B) Siput laut predator karang *Porites lobata*. Koloni *Drupella* di bagian atas dan seekor *Coralliophila* di bagian bawah melekat pada celukan karang. (Photo credit: Rita Rachmawati)

seperti dari genus *Drupella* dan *Coralliophila* (Gambar 32.B) yang hidup menempel di permukaan karang dan melewati seluruh hidupnya di koloni karang serta mengkonsumsi polip karang juga merupakan ancaman alami. Selain COTS, bulu babi *Echinometra mathaei*, *Diadema setosum*, dan *Tripneustes gratilla* juga merupakan pemakan polip karang (koralivora, *corallivore*) dari filum Ekinodermata.

Diketahui setidaknya ada 128 jenis ikan pemakan karang (*corallivore*; Cole *et al.* 2008). Namun perlu dicermati bahwa tidak semua ikan karang yang terlihat memakan karang sesungguhnya adalah *corallivorous fish*. Sebagian dari mereka, seperti *damsel fish*, utamanya memakan alga (herbivora) yang tumbuh di karang, tetapi adakalanya mereka memakan polip karang untuk menyediakan ruang bagi alga tumbuh di atas karang mati.

Tak hanya bintang laut dan babi laut (ekinodermata), keong laut (moluska), serta ikan karang saja yang memakan polip karang, karena ada juga predator dari kelompok anelida (*Hermodice carunculata*, *bearded fireworm*), krustasea, dan cacing pipih. Ada setidaknya 18 genus, utamanya *Acropora*, *Pocillopora*, *Porites*, dan *Montipora*, merupakan target hewan koralivora (Rotjan dan Lewis, 2008).

Penyakit pada karang umumnya disebabkan oleh bakteri. Beberapa bakteri penyebab penyakit karang memiliki warna spesifik sehingga kerap nama penyakit karang dibedakan berdasarkan warnanya seperti *white band disease*, *yellow band disease*, *black band disease*, dan *white plaque*.

Semua spesies karang keras (*Scleractinia*) masuk ke dalam daftar CITES (Convention on International Trade in Endangered Species) Appendix 2, artinya dapat diperdagangkan di level internasional secara terbatas dan harus mendapatkan izin resmi dari kantor CITES. Di Indonesia, sejak tahun 2020 secara administratif ditangani oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), sebagai *management authority* yang berwenang menerbitkan dokumen CITES untuk spesies terkait perikanan, sedangkan Pusat Penelitian Oseanologi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O LIPI) bertindak sebagai *scientific authority*, yang berwenang menentukan kuota untuk masing-masing spesies.

2.1.6.1.2 Karang Lunak (*Octocorallia*)

Karang lunak (*Octocorallia*) merupakan istilah untuk kelompok karang yang tidak memiliki rangka untuk menyokong tubuhnya. Jenis ini merupakan biota dominan kedua setelah karang keras (*Scleractinian*) yang juga dapat memiliki zooxanthellae. Karang lunak cenderung lebih berwarna-warni dibandingkan karang keras sehingga menjadi daya tarik tersendiri bagi wisatawan yang berkunjung ke kawasan tersebut dan dimanfaatkan oleh para pecinta ikan hias laut untuk menghiasi akuarium air laut. Selain mempunyai peranan ekologis dalam lingkungannya, karang lunak mempunyai potensi yang sangat besar di bidang farmasi sebagai antibiotika, anti jamur, dan anti tumor.

Karang lunak mewakili kelompok bentik yang beragam dan tersebar luas di Indo-Pasifik dan mencapai kelimpahan tertinggi di kawasan terumbu karang. Di dunia tercatat sekitar 1288 spesies karang lunak. Kelimpahan spesies dan individu tersebut berkurang seiring dengan perubahan garis lintang karena adanya penurunan suhu perairan sebagai faktor pembatas pertumbuhannya.

Selain itu jumlah spesies juga makin berkurang ke arah timur dan barat perairan Indo Pasifik. Sebuah penemuan terkini menunjukkan kawasan terumbu karang di Kepulauan Indonesia-Filipina-Papua Nugini merupakan perairan tropis yang memiliki jumlah spesies karang lunak terbesar sehingga kawasan di kepulauan Indonesia, Filipina, dan Papua Nugini disebut sebagai pusat keanekaragaman spesies karang lunak di dunia.

2.1.6.2 Anemon laut

Keindahan anemon laut ditandai dengan sifatnya yang melambai-lambai mengikuti arus laut serta mempunyai bentuk seperti bunga dengan berbagai ukuran dan warna. Karena keindahannya ini, anemon mempunyai nilai ekonomis terutama sebagai hiasan dalam akuarium laut dan sering digunakan sebagai sumber makanan oleh para nelayan setempat. Anemon laut mulai dikenal luas setelah diangkatnya film animasi Hollywood "Finding Nemo" yang

menceritakan kehidupan ikan badut yang hidup pada anemon dalam sebuah ekosistem karang. Di kehidupan nyata anemon memang menjadi tempat hidup ikan badut dan keduanya mempunyai hubungan simbiosis mutualisme, di mana dalam simbiosis tersebut ikan badut mendapat perlindungan dari anemon serta memakan material non metabolik yang dikeluarkan oleh anemon (Gambar 33). Sementara anemon juga dibersihkan dan dilindungi dari predator oleh ikan simbiosisnya.



Gambar 33. Anemon laut bersimbiosis dengan ikan badut. (Photo credit: Rita Rachmawati)

Anemon digolongkan ke dalam filum Cnidaria, kelas Anthozoa, dan subclass Hexacorallia. Biota laut ini merupakan hewan predator berbentuk radial simetris, *columnar*, dan memiliki satu lubang mulut yang dikelilingi oleh tentakel. Hewan ini mampu memakan hampir setiap makhluk hidup yang ada dalam jangkauannya. Meskipun mampu makan dalam jumlah banyak, apabila makanan tidak tersedia cukup maka anemon mampu mengecilkan bagian tubuhnya menjadi menyerupai bola, hal ini dilakukan pula apabila anemon merasa dalam bahaya.

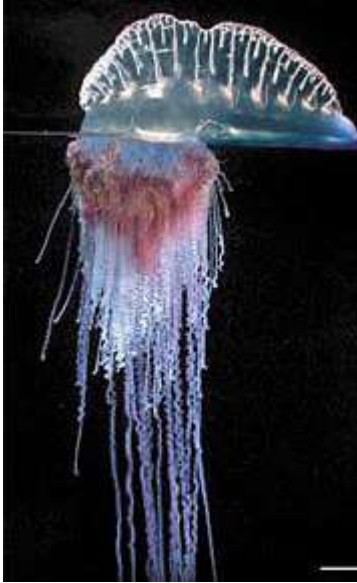
2.1.6.3 Kipas Laut (*Gorgonia*)

Masyarakat Indonesia lebih sering menyebut kipas laut sebagai akar bahar. Biota laut ini sering digunakan sebagai aksesoris yang melekat di tangan dan sering diceritakan menjadi salah satu aksesoris para pendekar dalam cerita-cerita silat. Namun sebenarnya kedua nama tersebut masih termasuk dalam satu golongan gorgonia. Makhluk ini hidup berkoloni, mempunyai pembeda bertanduk dan bercabang menyerupai pohon dengan struktur tubuh yang unik serta warna-warna cerah menambah daya tarik visual untuk dilihat. Kelompok gorgonia dianggap sebagai salah satu indikator kerentanan ekosistem laut karena menghuni hampir di seluruh komunitas bentik mulai habitat *sublittoral* dangkal hingga landas kontinen dan laut dalam.

2.1.6.4 Ubur-ubur

Mendengar istilah ubur ubur, kita umumnya membayangkan hewan yang berbentuk seperti payung berwarna bening disertai dengan tentakel yang panjang di bagian bawah. Hewan ini sangat ditakuti oleh para pengunjung pantai karena tentakelnya mengandung nematosis beracun, yang apabila terkena tubuh menyebabkan gatal dan panas. Jenis ubur-ubur beracun ini dikenal dengan nama *Portuguese man o' war* (*Physalia physalis*), tentakelnya berwarna kebiruan dan bagian bening yang mengapung berbentuk agak oval (Gambar 34).

Gambar 34. *Portuguese man o' war* (*Physalia physalis*). Salah satu jenis sifonofor yang menyerupai ubur-ubur sejati yang memproduksi racun penyebab iritasi dan rasa terbakar pada kulit manusia (Photo credit: www.earthhistory.org.uk)



Walaupun semua ubur-ubur memiliki nematosis, namun tidak banyak yang memiliki racun hingga mengganggu manusia. Karena sifatnya yang planktonik, populasi ubur-ubur penyengat seperti *portuguese man o' war* dapat terbawa ke pantai wisata dan berpotensi membahayakan wisatawan yang berenang di pantai.

Untuk itu, perlu mewaspadai keberadaan ubur-ubur penyengat saat berwisata di pantai. Apabila tidak tahu mana yang menyengat dan mana yang tidak menyengat, jangan memegang ubur-ubur apapun, termasuk yang sudah terdampar di pantai. Segera keluar dari badan air apabila melihat ubur-ubur yang diduga jenis penyengat. Sebaiknya pantai wisata yang diketahui sering ditemui

ubur-ubur penyengat, memasang papan peringatan dan informasi yang memuat jenis dan morfologi ubur-ubur penyengat, himbauan untuk menghindari, dan informasi penanganan darurat apabila tersengat ubur-ubur.

Secara tradisional, tumbukan daun katang-katang atau tapak kuda, tanaman merambat berbunga merah yang biasa ditemukan di pantai, dapat meredakan rasa panas dan gatal akibat racun ubur-ubur penyengat. Apabila tidak menemukan tanaman katang-katang, dapat juga menggunakan asam cuka untuk mengurangi efek dari sengatan ubur-ubur. Pengawas pantai wisata perlu melakukan observasi secara rutin untuk mendeteksi keberadaan ubur-ubur penyengat. Pihak manajemen pantai dapat melarang wisatawan untuk turun ke air apabila keberadaan ubur-ubur penyengat di laut dapat membahayakan wisatawan, bahkan dapat menutup sementara pantai apabila banyak ubur-ubur penyengat yang terdampar di pantai.

Ubur-ubur dapat ditemukan terapung dan terombang-ambing di permukaan laut, tetapi juga dapat ditemukan di laut dalam. Dalam bentuk medusa yang bersifat planktonik, ubur-ubur dapat menjelajah lautan dengan rentang yang jauh karena terbawa arus atau angin. Sebagai non-medusa, mereka dapat berlaku sebagai epifauna yang hidup menempel di substrat keras. Beberapa jenis ubur-ubur hidup di danau air tawar di daratan, khususnya yang termasuk kelas Hydrozoa.

Indonesia memiliki beberapa danau ubur-ubur jenis air laut yang sudah berevolusi untuk hidup di air tawar dan tidak menyengat (Gambar 35). Setidaknya diketahui terdapat tujuh danau ubur-ubur air tawar di Indonesia, yaitu Danau Kakaban di Pulau Kakaban dan Danau Haji Buang di Pulau Maratua (Kepulauan Derawan, Kalimantan Timur), satu danau di Karawapop



Gambar 35.
Danau ubur-ubur di salah satu pulau di Misool, Raja Ampat (Papua Barat) (Photo credit: Ricardo F. Tapilatu)

dan dua danau di Sumalelen (Misool, Kepulauan Raja Ampat, Papua Barat), danau di sekitar Pulau Kadidiri dan Pulau Pangempa (Kepulauan Togean, Sulawesi Tengah), dan danau di Desa Landu (Pulau Rote bagian timur, Nusa Tenggara Timur). Sangat mungkin danau evolusi berisi ubur-ubur yang tidak menyengat ini juga ada di pulau-pulau kecil lain di Indonesia, namun keberadaannya belum diketahui oleh masyarakat umum sehingga belum dikembangkan sebagai objek wisata.

Ubur-ubur memiliki siklus hidup yang unik dan memiliki proses metamorfosis yang kompleks. Namun secara umum ubur-ubur memiliki fase polip yang menempel pada substrat keras seperti di daerah terumbu karang atau berbatu, dilanjutkan dengan fase medusa yang hidup di kolom air dan bersifat planktonik sehingga berpindah dari satu tempat ke tempat lain mengikuti pergerakan arus. Beberapa jenis ubur-ubur yang sebagian organnya mengapung di atas permukaan laut, seperti *portuguese man o' war*, juga dapat dihempas angin sehingga berpindah ke tempat lain.

Kendatipun di kolom air ubur-ubur bersifat planktonik, mereka dapat memiliki kebiasaan migrasi vertikal harian, naik ke permukaan di malam hari dan kembali ke kolom air di kedalaman pada siang hari, atau migrasi vertikal musiman, naik ke permukaan di musim tertentu untuk berburu makanan.



Gambar 36.
Ubur-ubur *Chironex fleckeri* yang mematikan (Photo credit: Aap Photo / Kelvin Aitken)

Selain *Portuguese man o' war* yang sengatannya menimbulkan rasa panas dan gatal di kulit manusia, beberapa jenis ubur-ubur kotak bahkan menghasilkan racun pada sengatannya yang dapat mengakibatkan kematian pada manusia, seperti ubur-ubur *Chironex fleckeri* (Gambar 36), yang dapat menyebabkan alergi sangat parah. Belum diketahui apakah jenis ini ada di Indonesia, namun ubur-ubur mematikan ini diketahui terdapat di Filipina dan Vietnam (Fenner, 2000). Di Australia, terjadi 63 kasus kematian akibat sengatan ubur-ubur ini pada rentang waktu 1884 hingga 1996 (Fenner dan Williamson, 1996).

Comb jelly sepintas sangat mirip dengan ubur-ubur (*jellyfish*), namun secara taksonomi mereka sangat berbeda, bahkan berada pada filum yang berbeda, meski di Indonesia *comb jelly* disebut ubur-ubur sisir. *Comb jelly* tidak memiliki nematosis sebagaimana hewan Cnidaria seperti ubur-ubur. *Comb jelly* memiliki silia yang membantu mereka berenang, karenanya termasuk ke dalam filum Ctenophora. Terdapat sekira 192 spesies pada filum ini (WoRMS, July 2015). Ukuran hewan ini dari beberapa mm hingga 1.5 m. Mereka adalah predator dari rotifer dan larva mikroskopis hingga krustasea kecil.

Karena sifatnya yang planktonik, ubur-ubur dapat tersedot mesin dan menyumbat sehingga berpotensi merusak sistem pendingin pada instalasi pembangkit listrik atau penyulingan air.

Beberapa jenis ubur-ubur mampu bertahan hidup di 'deadzone' dengan kandungan oksigen sangat rendah di mana organisme laut seperti ikan, moluska, dan insekta tidak mampu hidup. Karenanya berpotensi terjadi ledakan ubur-ubur, yang mengkonsumsi telur dan anakan ikan, sehingga upaya 'deadzone' pulih kembali menjadi terhambat.

Kantong plastik yang mengapung atau melayang-layang terbawa arus di laut menyerupai ubur-ubur yang merupakan salah satu makanan favorit penyu

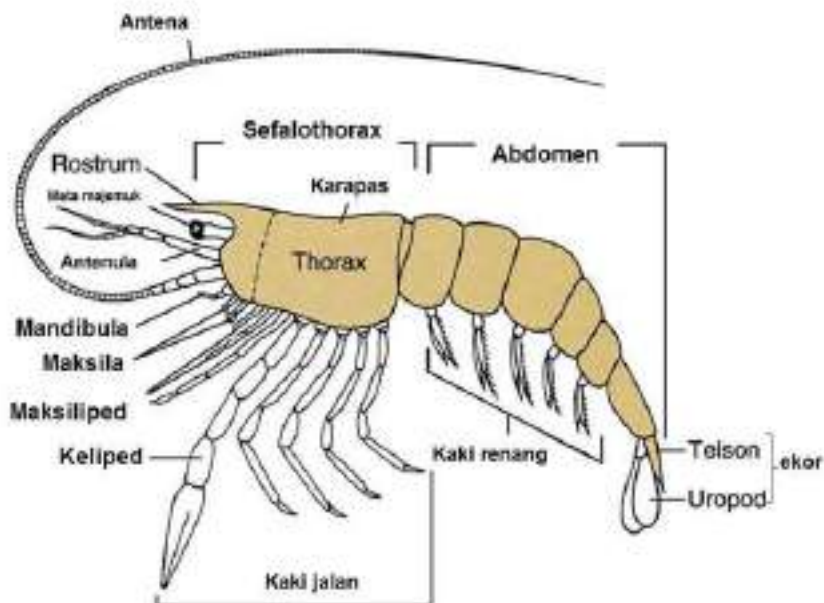


Gambar 37.
Penyu 'makan'
kantong plastik yang
kemungkinan disangka
ubur-ubur (Photo
credit: Intisari Online -
Grid.Id)

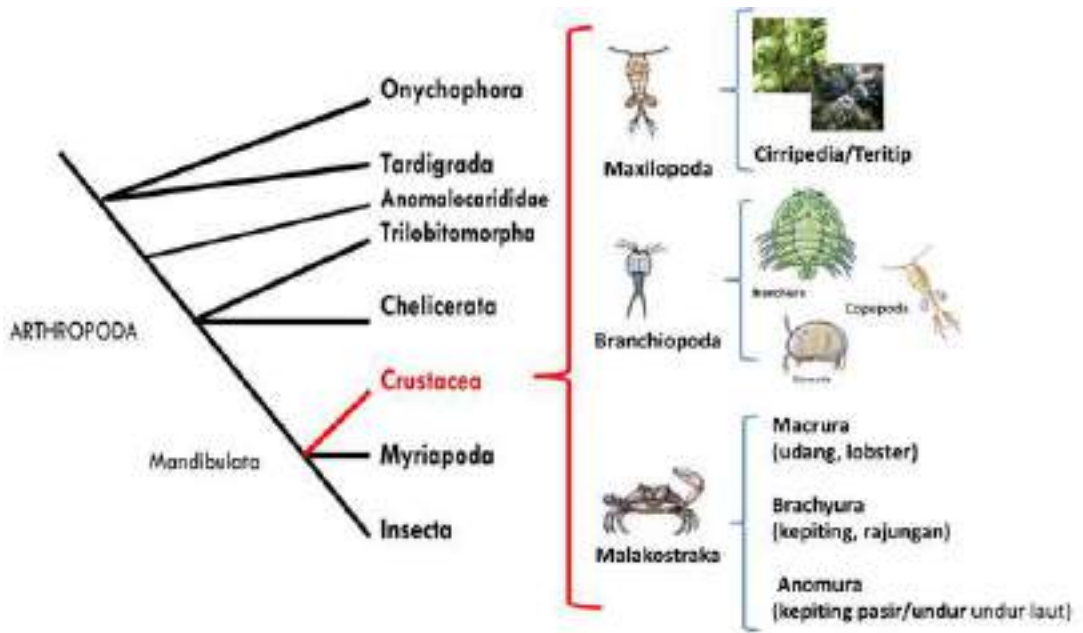
dan ikan besar seperti tuna dan madidihang. Apabila termakan penyu (Gambar 37) atau biota laut lainnya, sampah plastik menjadi ancaman karena tidak dapat dicerna dan berakibat fatal bagi kesehatan dan keselamatan mereka. Karena itu diet plastik dan mengaplikasikan 3R (*Reduce, Reuse, and Recycle*) terhadap berbagai produk plastik dapat menyelamatkan kelestarian penyu dan biota laut lainnya. *Reduce* berarti meminimalisir penggunaan plastik; gunakan barang alternatif yang dapat dipakai berulang kali seperti tas belanja, sedotan *reusable*, dan lain-lain. Manakala terpaksa menggunakan barang terbuat dari plastik, usahakan gunakan berulang kali (*Reuse*) untuk meningkatkan nilai guna dan menunda penumpukan sampah. Di saat barang dari plastik tersebut sudah tidak dapat digunakan, apabila dapat didaur ulang, maka letakkan di tempat sampah daur ulang (*Recycle*). Karenanya, dalam memilih barang dari plastik, usahakan memilih barang yang dapat didaur ulang. Pada saat ini, sudah mulai juga diproduksi barang dengan campuran hasil daur ulang.

2.1.7 Krustasea

Krustasea merupakan salah satu kelas terbesar dalam Filum *Arthropoda*. Nama *Arthropoda* berasal dari karakternya yang memiliki bagian tubuh/kaki bersendi. Sifat umum dari kelas ini adalah kerangka luar keras dari polisakarida majemuk jenis kitin. Cangkang atau karapasnya dihasilkan oleh epidermis yang tidak elastis dan keras. Sehingga saat menjadi dewasa, organisme ini akan mengalami pergantian karapas berkali-kali dan ditanggalkan secara berkala dikenal dengan istilah ekdisis melalui proses *molting*. Krustasea adalah *arthropoda* yang sebagian besar hidup di air laut maupun tawar walaupun ada yang sudah beradaptasi dengan kehidupan darat seperti kepiting darat. Bagi krustasea yang hidup di air, organ pernapasan yang digunakan adalah insang. Bagian tubuh



Gambar 38. Anatomi dan morfologi krustasea secara umum.



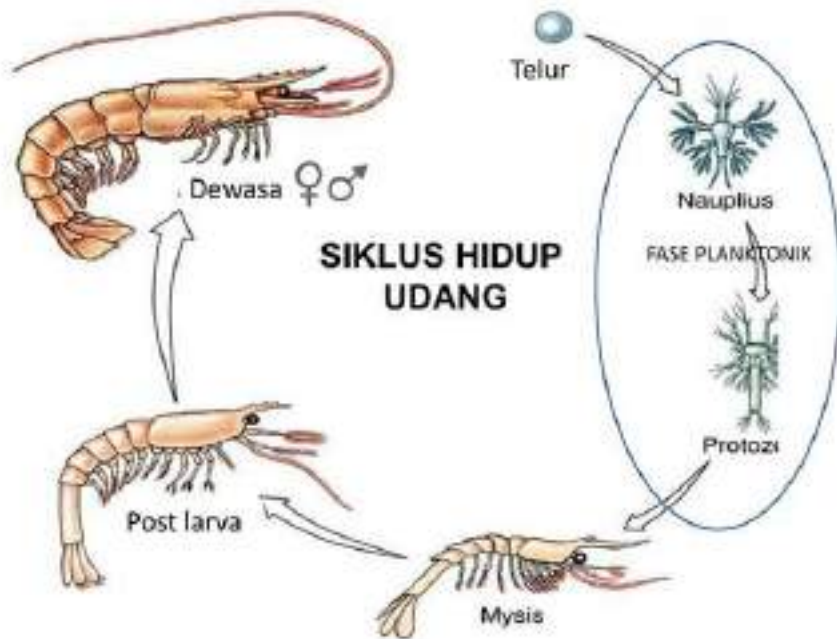
Gambar 39.
Pengelompokan sub
krustasea dalam filum
Arthropoda

krustasea sejati terdiri atas tiga bagian kepala-dada yang menyatu, abdomen atau perut, dan ekor. Kepala dan dada yang menyatu disebut dengan istilah *cephalothorax*. Krustasea dicirikan dengan bentuk tubuh simetris dan beruas-ruas, mata majemuk, antena dan antenula berfungsi sebagai *kemoreseptor* yang dilengkapi dengan *mandibula*, *maksila*, *maksiliped*, dan *seliped* untuk proses memasukkan mangsa atau makanannya; memiliki kaki jalan dan kaki renang. Secara umum morfologi dan anatomi krustasea disajikan pada Gambar 39.

Udang merupakan salah satu jenis krustasea. Di samping itu, kita kenal jenis krustasea yang lain seperti lobster, kepiting, dan teritip. Pengelompokan subfilum krustasea terdiri dari kelas *Branchiopoda*, *Maxillopoda*, dan *Malakostraka* (Gambar 39). Jenis udang-udangan yang ada di pasaran dan banyak dikonsumsi adalah jenis *Malakostraka*, lebih khususnya masuk pada ordo decapoda. Istilah *malakos* adalah menunjukkan kelompok krustasea yang bercangkang lunak. Malakostraka ini dibagi dalam beberapa ordo Amphipoda, Isopoda, Euphausiacea, dan Decapoda. Decapoda dibagi lagi menjadi tiga kelompok: *Macrura* (udang, lobster), *Brachyura* (kepiting, rajungan), dan *Anomura* (kepiting pasir/undur undur laut). Decapoda ini yang selanjutnya akan dibahas siklus hidup, distribusi dan peran secara ekonomi dan ekologi dalam sub bab ini.

Siklus Hidup

Golongan hewan ini bersifat *diesis*, yaitu organisme yang hanya memiliki satu jenis kelamin saja, kelamin jantan atau kelamin betina. Jenis pembuahan krustasea adalah fertilisasi internal yaitu di dalam tubuh betina. Jenis *macrura* untuk marga *Panulirus* mempunyai daur yang amat majemuk. Telur dibuahi



Gambar 40.
Siklus hidup udang

menetas menjadi larva dengan beberapa macam tingkatan yang berbeda beda pada tiap jenisnya. Di Indonesia, pemahaman terhadap tingkatan yang berbeda-beda ini masih sangat kurang ditambah lagi siklus hidup, di wilayah tropis lebih singkat daripada di wilayah subtropis. Daur hidup terutama di alam perlu dipelajari dan dipahami lebih lanjut agar dapat ditentukan waktu dan lokasi tangkapnya serta dibudidayakan untuk pemenuhan kebutuhan ekonomi.

Cara makan krustasea planktonik adalah dengan menyaring (*filter feeder*). Sementara itu, jenis *decapoda* contohnya udang karang (*Panulirus sp*) bersifat karnivora melalui pemangsa biota dasar perairan seperti kerang, atau dapat juga omnivora bahkan bersifat kanibal pada udang yang *molting*. Waktu makan dilakukan pada malam hari karena termasuk jenis organisme nokturnal. Jantan dan betina untuk jenis *decapoda* sudah dapat dibedakan dengan bentuk anatominya.

Habitat

Habitat marga *Panulirus* yang terdiri 14 dari suku *panuliridae* adalah di perairan tropis (antara 30°LS-30°LU), secara spesifik pada lingkungan perairan karang dengan kedalaman 0-100 m, suhu 20-30 °C. Udang bertoleransi dengan perbedaan suhu yang luas atau dikenal dengan istilah *eurythermal*. Di Indonesia secara lebih khusus untuk jenis *Panulirus* (=udang barong) diketahui terdapat tujuh jenis yaitu; *P. homarus*, *P. penicillatus*, *P. longipes*, *P. polyphagus*, *P.versicolor*, *P. ornatus*, dan *P. dasyopus*.

Pemanfaatan

Pemanfaatan krustasea di Indonesia mengarah pada taksa kepiting, lobster, udang, dan lobster air tawar/*Cherax*. Pemanfaatan ini juga dipicu pada peningkatan permintaan produk dan pergeseran selera konsumen dari *red meat* (daging produk ternak ruminansia) ke *white meat* (ikan dan udang). Pemanfaatan tersebut dilakukan dengan dua pendekatan yaitu perikanan tangkap dan budidaya. Setiap taksa krustasea tersebut memiliki nilai, pangsa pasar, dan produksi yang sangat beragam. Komoditas tersebut menjadi salah satu produk perikanan ekonomis penting bagi Indonesia. Karena ekspor udang saat ini menjadi penyumbang pendapatan devisa terbesar sektor perikanan.

A. Perikanan Tangkap

Kepiting merupakan salah satu komoditas perikanan penting bagi Indonesia, kelompok kepiting yang intensif dimanfaatkan oleh masyarakat perikanan Indonesia terdiri dari kepiting bakau (*Scylla* spp.) dan rajungan (*Portunus* spp.)

Tingkat pemanfaatan perikanan di Indonesia secara keseluruhan didominasi oleh status *overfishing* di mana paling tinggi adalah *overfishing* pada kelompok udang penaeid, lobster, kepiting, dan rajungan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suman *et al.*, 2015, pemanfaatan yang sangat intensif untuk udang dan krustasea lainnya berkaitan dengan permintaan komoditas tersebut yang sangat tinggi.

Kepiting bakau merupakan salah satu komoditas perikanan penting dengan tingkat permintaan dalam dan luar negeri yang tinggi. Umumnya, produksi kepiting bakau Indonesia didapatkan dengan cara penangkapan langsung dari alam, namun produksinya sangat tergantung dengan kondisi dan luasan mangrove. Nelayan melakukan penangkapan dengan menggunakan bubu lipat, pengait, penjerat, dan jaring insang. Dendo *et al.*, 2018 melaporkan bahwa produksi kepiting bakau selama ini merupakan hasil tangkapan dari kawasan hutan mangrove.

Penangkapan kepiting bakau terus menerus dilakukan untuk memenuhi permintaan pasar lokal maupun pasar Internasional, di mana negara dominan sebagai pengimpor komoditas ini dari Indonesia adalah Malaysia (60 persen), Singapura (30 persen) dan Cina (10 persen). Nilai ekspor kepiting bakau Indonesia pada Tahun 2017 mencapai US\$ 7,0 juta. Sementara harga kepiting bakau di pasar lokal Indonesia yaitu kategori kualitas rendah (<10 ekor/kg) adalah Rp 20.000,00-Rp30.000,00 dan kualitas baik (>10 ekor/kg) adalah Rp60.000,00-Rp220.000,00.

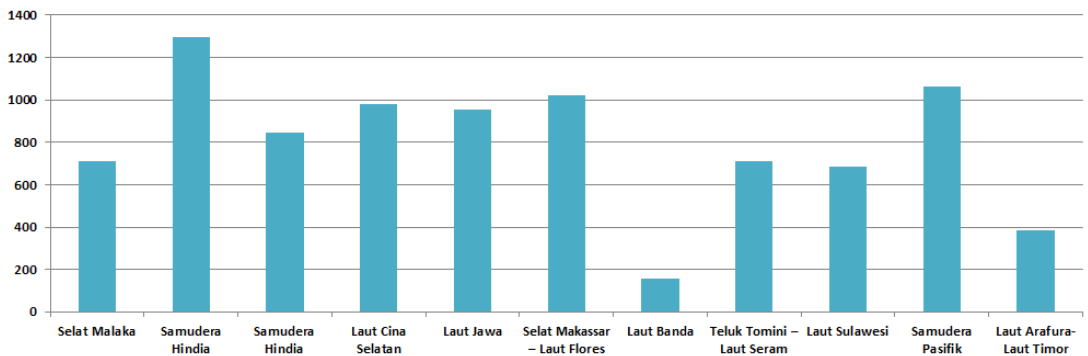
Jenis kepiting bakau yang dominan dijumpai adalah *Scylla serrata*. Status pemanfaatan kepiting bakau di Indonesia berada pada kondisi sedang yaitu sumber daya kepiting bakau masih dapat dimanfaatkan, tetapi harus diiringi upaya pengelolaan secara berkelanjutan. Sebagai pengetahuan umum

bahwa rajungan atau *Blue Swimming Crab* (BSC) merupakan komoditas ekspor penting tertinggi ketiga di Indonesia setelah tuna dan udang, dan mayoritas diekspor ke Amerika, telah menyumbang devisa sebesar US \$246,14 juta dari ekspor pada tahun 2015 (APRI, 2016).

Berdasarkan data Asosiasi Pengelolaan Rajungan Indonesia (APRI), perikanan BSC telah mendukung secara langsung 65.000 nelayan dan 130.000 pengolah rajungan. Alat tangkap utama yang digunakan berupa jaring insang dan bubu, dan beberapa kapal pukat penangkap kepiting rajungan walaupun sebagai hasil tangkap sampingan. Rajungan dapat dijumpai di seluruh Indonesia namun usaha perikanan rajungan terkonsentrasi di Pantai Utara Jawa, Lampung, dan Sulawesi.

Lobster adalah salah jenis hasil laut yang bernilai tinggi dalam perdagangan produk perikanan, baik di tingkat lokal maupun internasional (Jayanto *et al.*, 2015). Permintaan global terkait produk lobster meningkat 15 persen per tahun, yang umumnya dipasarkan di Cina (Jones *et al.*, 2008). Hingga saat ini, umumnya produk lobster berasal dari hasil tangkapan langsung dari laut.

Perairan potensial penghasil lobster terbesar berada di hampir seluruh perairan Indonesia mulai dari Pantai Barat Sumatra, Pantai Timur Sumatra, Pantai Utara dan Selatan Jawa, Teluk Bone, Selat Makassar, Laut Maluku dan Arafura (Papua) (Mahdiana, 2010). Sumber daya lobster berada di semua Wilayah Pengelolaan Perikanan di Indonesia (Tabel-1).



Tingkat pemanfaatan lobster dipengaruhi oleh kegiatan penangkapan. Menurut WWF (2015) penangkapan lobster dibagi menjadi penangkapan dengan alat tangkap pasif dan aktif. Alat tangkap aktif untuk menangkap lobster adalah alat tangkap jerat yang dioperasikan dengan menyelam, metode penangkapan ini lebih selektif dari segi hasil tangkapan tetapi dapat mengancam kesehatan penangkap saat menyelam karena tidak menggunakan standar penyelaman yang baik. Ada juga alat tangkap pasif seperti krendet, bubu, dan jaring tiga lapis.

Tabel 1.
Potensi Sumber
daya Lobster di
Wilayah Pengelolaan
Perikanan (WPP)
pada tahun 2016

Menurut Green *et al.*, 2013, salah satu upaya untuk menaikkan kelimpahan lobster di habitat aslinya adalah dengan peningkatan populasi lobster dengan cara (1) *restocking*, (2) peningkatan stok lewat pengembangan teknik pemeliharaan benih, dan (3) pengenalan habitat luar lewat cara budidaya.

Pada tataran pengelolaan, pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan (Permen KP) yang bertujuan untuk pengelolaan yang berkelanjutan. Secara spesifik, penangkapan ketiga komoditi tersebut dapat dilakukan jika biota tersebut mencapai ukur karapas dan berat tertentu yang menjamin kelestarian populasi di masa mendatang. Dengan regulasi ini, Pemerintah Indonesia memberikan jaminan keberlanjutan pada usaha pengelolaan lobster kepiting dan rajungan di Indonesia .

B. Perikanan Budidaya

Udang (*Penaeus* spp.) merupakan salah satu spesies ekonomis penting, di mana Indonesia mengekspor udang hasil budidaya (*Penaeus monodon*, Gambar 41), dan hasil tangkapan di alam (udang putih, *Penaeus merguensis*). Ekspor udang masih menjadi komoditas primadona perikanan, dengan nilai ekspor yang terus meningkat setiap tahunnya.

Ekspor udang masih menjadi primadona ekspor hasil perikanan hingga akhir tahun ini 2018, yang mencapai US\$ 1,8 miliar, dengan volume 180.000 ton. Tujuan utama ekspor udang Indonesia lebih dominan ke pasar Amerika Serikat, yang merupakan pemasok kedua terbesar ke negara Paman Sam setelah India. Selain itu, benua Eropa termasuk destinasi ekspor kedua terbesar, dan saat ini Indonesia berada pada urutan ke-16 pengekspor udang ke Benua Biru tersebut, dengan nilai ekspor US\$ 84 juta pada 2018.

Gambar 41.
Komoditas primadona Indonesia, udang Windu (*Penaeus monodon*), yang saat ini kebanyakan dibudidayakan dengan pendekatan ekosistem dan dengan skala kecil.



Udang windu (*P. monodon*) adalah udang asli Indonesia yang pernah menjadi komoditi ekspor terlaris pada era 1980-1900 an. Namun, pamor kejayaannya mulai runtuh pada awal tahun 2000-an dan praktis berakhir pada 2003. Faktor utama penurunan produksi dan ekspor komoditas ini akibat serangan penyakit *White Spot Syndrome* (WSS) dan seri penyakit lainnya dengan tingkat patogenitas yang tinggi. Pada era kejayaan udang windu, komoditas primadona ini menyumbang 15 persen dari total nilai ekspor kategori nonmigas

Sesaat setelah runtuhnya kejayaan udang windu Indonesia, para petambak dan pengusaha udang mencari solusi kultivan, dan pada saat itulah diperkenalkan *Litopenaeus vannamei*, yang berasal dari perairan Amerika Selatan. Komoditi ini dikenal tahan terhadap penyakit, pertumbuhan cepat, dapat ditebar dengan kepadatan yang tinggi dan FCR rendah. Namun demikian, harga udang windu lebih tinggi 10 persen dibandingkan dengan udang vaname. Saat ini, budidaya udang vaname telah menyebar ke penjuru tanah air. Vaname dibudidayakan di tambak, kurungan di muara sungai hingga dalam Keramba Jaring Apung (KJA) di laut.

2.1.8 Moluska, Ekinodermata, dan, Invertebrata Lainnya

2.1.8.1 Moluska

Filum Moluska (*Mollusca*) merupakan salah satu filum dengan keragaman spesies laut yang tinggi, yaitu 45.122 spesies (WoRMS, Juli 2015).

2.1.8.1.1 Chepalopoda

Secara harfiah Cephalopoda diartikan dari bahasa latin yaitu binatang yang mempunyai kaki (*poda*) di kepala (*cephalus*), nama ini diambil dari ciri khas hewan yang memiliki tentakel di sekitar kepala. Chepalopoda dimasukkan ke dalam golongan binatang berdaging lunak (moluska) yang tidak bertulang belakang (invertebrata).

Terdapat 17.000 fosil spesies Chepalopoda dan hanya 800 spesies teridentifikasi hidup. Chepalopoda terbagi menjadi dua subkelas yaitu *dibranchiata/coleoidea* yang tidak mempunyai cangkang tubuh maupun mempunyai cangkang internal, subkelas ini terdiri dari sotong (*Sepia* sp., Sepiidae), cumi cumi (*Loligo* sp., Loliginidae), gurita (*Octopus* sp., Octopodidae), cumi-cumi ekor pendek (*Euprymna* sp., Sepiolidae), dan Etrabbranchiata/Nautiloidea yang mempunyai cangkang tubuh eksternal yaitu Nautilus (*Nautilus* sp., Nautilidae). Ukuran tubuh kelompok moluska ini rata-rata kecil sampai dengan menengah seperti jenis gurita (*Octopus* sp.) yang mencapai 1 meter, namun terdapat spesies cumi raksasa (*Architeuthis* sp.) yang mempunyai ukuran rata-rata 3-6 m dan mencapai panjang maksimal 19 m, berat rata-rata 450 kg, dan mencapai berat maksimal 900 kg.

Cephalopoda berkembang biak dengan melakukan perkawinan. Namun biasanya cephalopoda akan mati dan meninggalkan telur yang terbuahi dalam keadaan terbungkus dengan bahan gelatin. Telur tersebut saat menetas menjadi cephalopoda kecil yang langsung bisa berenang tanpa melalui fase larva.

Cumi cumi menjadi salah satu produk tangkapan unggulan untuk ekspor dan terus meningkat dari tahun ke tahun (21.4 persen per tahun dalam kurun waktu 2012-2017, BPS). Namun demikian hasil tangkapan alam tentunya akan berpotensi pada terjadinya kelebihan penangkapan (*overfishing*). Sementara kegiatan budidaya untuk spesies ini masih pada tahapan pengumpulan telur dan *restocking*.

Karena kegesitan dan keunikan gerakannya, metode gerakan cephalopoda menjadi materi studi gerakan ergonomis dan gerakan propulsi atau gerakan melesat yang kemudian diaplikasikan dalam teknologi permesinan atau aplikasi lainnya. Selain itu kemampuan sel kromatofor untuk berkamuflase dan mimikri menjadi studi khusus untuk dapat diaplikasikan dalam bentuk lain yang berguna secara langsung bagi kehidupan manusia, termasuk di bidang medis, yang mempelajari aspek neurologi di balik kemampuan kamuflase dan mimikri.

2.1.8.1.2 Gastropoda

Gastropoda atau siput adalah salah satu kelas dalam binatang berdaging lunak (moluska). Sesuai dengan nama latinnya binatang ini menggunakan kaki-kaki (poda) yang ada di perutnya (gastro). Kelas ini memiliki jumlah spesies terbanyak di dunia moluska. Jumlah spesies gastropoda mencapai 80 persen dari total moluska dan 62.000 spesies diantaranya sudah teridentifikasi dari kemungkinan 150.000 spesies yang ada. Siput lebih dikenal karena mempunyai cangkang atau rumah yang selalu dibawa, namun karena terjadinya evolusi terdapat pula jenis siput yang tidak bercangkang (siput telanjang).

Pada umumnya siput merupakan binatang hermaphrodit, yaitu binatang yang mempunyai organ jantan dan betina dalam satu individu. Namun untuk melakukan perkawinan mereka memerlukan individu lain karena saluran organ genital yang berbeda. Perkawinan itu berlangsung dengan cara bertukar sperma pada masing masing individu dan setelah proses perkawinan, telur akan diletakkan ke dalam substrat kemudian menetas menjadi individu muda.

Dalam rantai trofik perairan, gastropoda menempati mata rantai herbivora, yang berfungsi sebagai pengendali pertumbuhan fitoplankton. Gastropoda juga menempati posisi *detritivora* yang memakan detritus dan serasah dan menjadi komponen penting dalam ekosistem lamun. Selain berperan secara ekologis, di Indonesia beberapa spesies gastropoda mempunyai nilai ekonomis penting baik untuk pemenuhan kebutuhan protein maupun hiasan.

Abalone (*Haliotis* sp.) atau mata tujuh merupakan salah satu gastropoda yang mempunyai harga fantastis yaitu mencapai harga Rp 500.000 per kg

(hidup) dan Rp 1 juta per kg dalam keadaan kering. Jenis gastropoda lainnya seperti siput gonggong (*Strombus* sp.) dan keong macan (*Babylonia spirata*, L) juga banyak dikonsumsi dan mempunyai nilai ekonomis penting. Sedangkan beberapa jenis gastropoda berukuran besar banyak digunakan sebagai hiasan. Jenis gastropoda beracun, *cone snail* (*Conus* sp.) memproduksi senyawa beracun (*ziconotide*) yang sangat mematikan, namun bermanfaat dalam dunia farmasi. Daya bius senyawa tersebut 1.000 kali lebih baik dari morfin untuk menghilangkan rasa sakit (*pain reliever*) dan digunakan dalam penyembuhan penyakit alzheimer, parkinson, depresi, dan epilepsi.

2.1.8.1.3 Bivalvia

Kita mengenal kerang, tiram, dan remis sebagai salah satu kelompok makanan laut. Semua jenis binatang lunak tersebut merupakan kelompok Bivalvia. Disebut *Bivalvia* karena mempunyai sepasang cangkang yang bisa dibuka dan ditutup. Bivalvia juga dikenal sebagai *pelecypoda* atau binatang berkaki pipih menyerupai kampak dan *Lamellabranchiata* atau binatang yang memiliki insang berlapis. Kelompok ini memiliki jumlah spesies terbanyak kedua pada kerajaan moluska dan mendekati 100.000 spesies yang sebagian besar merupakan organisme air (akuatik).

Bivalvia berkembang biak melalui perkawinan dan mempunyai organ genital terpisah (berumah dua) namun terdapat beberapa bivalvia yang hermaphrodit seperti *Crassostrea* spp. dan memiliki gonad yang bersamaan berfungsi sebagai ovarium maupun testis (*Tridacna* sp.). Pembuahan sebagian besar berlangsung di luar di mana sperma dan telur dilepaskan di perairan kemudian terbuahi dan berkembang menjadi *trochophore* kemudian menjadi *veliger* yang bersifat planktonik. Perkembangan selanjutnya larva sudah menyerupai dewasa dan menetap dengan menempel pada substrat.

Bivalvia banyak ditemukan di wilayah intertidal di seluruh perairan laut yang memiliki tekanan fisik dan kimia yang tinggi seperti adanya pasang surut serta perubahan salinitas yang drastis sehingga organisme ini mempunyai kemampuan untuk beradaptasi dalam lingkungan tersebut. Namun kemampuan berpindah (motil) yang lambat menjadikan organisme ini mudah ditangkap.

Tidak seperti moluska lainnya, sistem pencernaan bivalvia tidak memiliki radula, sehingga untuk mendapatkan makanan dilakukan dengan menyaringnya melalui insang (*filter feeder*). Penyaringan ini bersifat tidak selektif sehingga baik plankton, detritus maupun partikel lainnya akan tersaring oleh organisme ini, oleh karena itu selain berperan sebagai biofilter di lingkungan alamnya. Bivalvia berperan sebagai bioindikator pencemaran perairan.

Bivalvia pada umumnya dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan beberapa diantaranya dimanfaatkan sebagai perhiasan (mutiara). Kegiatan penangkapan komoditas kekerangan didominasi jenis kerang darah (*Anadara*

Tabel 2
Jenis-jenis kima dan
status perlindungannya.
(Tabel dibuat oleh BPSPL
Padang, KKP)

No	Nama Jenis	Nama Indonesia	Nama Umum	Status Perlindungan
Tridacnidae				
1	<i>Hippopus hippopus</i>	Kima Tapak Kuda	Horse's hoof, bear paw	Apendiks II CITES, Rawan punah-IUCN, Dilindungi
2	<i>Hippopus porcellanus</i>	Kima Cina	Cina clam	Apendiks II CITES, Rawan Punah-IUCN 2014, Dilindungi
3	<i>Tridacna crosea</i>	Kima kunia/lubang	Crossus, Saffron Colored clam	Apendiks II CITES, Rawan Punah-IUCN 2014, Dilindungi
4	<i>Tridacna derasa</i>	Kima selatan	Southern-giant clam	Apendiks II CITES, Rawan Punah-IUCN 2014, Dilindungi
5	<i>Tridacna maxima</i>	Kima kecil	Largest clam mussel	Apendiks II CITES, Rawan Punah-IUCN 2014, Dilindungi
6	<i>Tridacna gigas</i>	Kima raksasa	Great clam	Apendiks II CITES, Rawan Punah-IUCN 2014, Dilindungi
7	<i>Tridacna squamosa</i>	Kima sisik, kima seruling	Scafy, Fluted giant clam	Apendiks II CITES, Rawan Punah-IUCN 2014, Dilindungi
8	<i>Tridacna costata</i>	Kima laut merah	Red sea clam	Apendiks II CITES, Rawan Punah-IUCN
9	<i>Tridacna tevoraa</i>	Kima hantu	Fiji clam	Apendiks II CITES
10	<i>Tridacna rosewateri</i>	Kima Lautan Hindia	Hindia ocean clam	Apendiks II CITES

granosa), kerang bulu (*A. antiquata*), kerang batik (*Paphia undulata*), kerang kampak (*Atrina pectinate*), kerang baling baling (*Trisidos tortuosa*) dan terdapat pula Kima (*Tridacna* sp.) yang merupakan jenis kerang dilindungi. Kegiatan budidaya kekerangan yang berkembang cukup baik adalah budidaya mutiara dan kerang hijau.

Selain dua spesies kima *Hippopus*, lima spesies kima *Tridacna* juga dilindungi. Tujuh spesies kima tersebut ditambah tiga spesies lainnya termasuk dalam daftar CITES Apendiks II, artinya hanya dapat diperjualbelikan di pasar internasional secara terbatas (Tabel 2). Walaupun masuk dalam daftar CITES Apendiks II, 7 (tujuh) spesies kima yang dilindungi tidak dapat diambil dari alam dan dimanfaatkan dalam bentuk apa pun.

2.1.8.2 Ekinodermata.

Termasuk ke dalam filum Ekinodermata adalah berbagai jenis bintang laut dan timun laut. Diketahui terdapat 7.245 spesies yang masuk ke dalam filum ini (WoRMS, Juli 2015), yang kesemuanya merupakan spesies laut. Ekinodermata umumnya ditemui hidup di perairan intertidal namun ada juga yang dapat hidup di laut dalam. Ekinodermata dewasa hidup sebagai bentos.

Terdapat lima kelas dalam filum Ekinodermata (Morrisey *et al.*, 2018), yaitu Asteroidea (kelompok bintang laut), Holothuroidea (kelompok timun laut

atau *sea cucumber*), Echinoidea (kelompok bulu babi, *heart urchin*, dan *sand dollar*), Crinoidea (kelompok *feather star* dan lili laut), dan Ophiuroidea (kelompok *brittle star*).

2.1.8.2.1 Bintang Laut

Bintang laut merupakan kelompok biota laut yang cukup populer dan dikenal masyarakat karena bentuknya yang unik, warnanya menarik, dan relatif mudah ditemui di perairan dangkal. Bintang laut biru atau *blue sea star*, *Linckia laevigata*, merupakan salah satu jenis bintang laut tipikal (berkaki lima) yang mudah ditemui di perairan dangkal berpasir atau habitat terumbu karang. Bintang laut ini juga dikenal memiliki parasit, *Thyca crystallina*, dari kelompok moluska.



Gambar 42. Bintang laut biru atau *blue sea star*, *Linckia laevigata* mudah dijumpai di perairan dangkal berpasir atau terumbu karang. Bintang laut ini juga dikenal memiliki parasit, *Thyca crystallina*. (Photo credit: Rita Rachmawati)

Jenis bintang laut yang juga sering ditemui di habitat yang sama dengan bintang laut biru adalah bintang laut bantal *Choriaster granulates* yang dikenal sebagai *granulated sea star* (Gambar 43). Bintang laut ini juga berkaki lima. Ada juga bintang laut bantal yang tidak terlihat kakinya, lebih terlihat membentuk segi lima, dari spesies *Culcita novaguineae*, yang dikenal sebagai *cushion star*.



Gambar 43. *Granulated sea star* adalah bintang laut bantal dari spesies *Choriaster granulates* yang banyak ditemui di perairan dangkal berpasir dan terumbu karang. (Photo credit: Rita Rachmawati)

Salah satu jenis bintang laut yang penting, terutama di ekosistem terumbu karang, adalah *the Crown of Thorns Starfish* (COTS), *Acanthaster Planci*, (Gambar 44). Bintang laut berukuran besar ini merupakan predator bagi koloni polip karang. Ledakan populasi COTS menjadi ancaman bagi kesehatan ekosistem terumbu karang karenanya populasinya perlu dikontrol.



Gambar 44. Bintang laut *coralivora* (pemakan karang), *the Crown of Thorns Starfish* (COTS), *Acanthaster Planci*. (Photo credit: Rita Rachmawati)

2.1.8.2.2 Timun Laut

Timun laut berperan penting secara ekologis bagi ekosistem terumbu karang dan padang lamun. Terdapat sekira 1.400 jenis timun laut dan Indonesia memiliki sekitar 350 jenis diantaranya. Berbagai jenis timun laut telah lama dimanfaatkan sebagai makanan maupun bahan obat-obatan, yang dikenal sebagai teripang, yaitu timun laut yang memiliki nilai ekonomi. Hal ini dikarenakan kandungan

Gambar 45.
Berbagai jenis
teripang segar yang
dijajakan di kawasan
Glodok, Jakarta.
(Photo credit: BBC
Indonesia)



gizi dan zat aktif yang sangat tinggi dimiliki oleh kelompok ekinodermata ini (Gambar 45). Setidaknya 4 jenis vitamin ditemukan pada timun laut yaitu vitamin A, vitamin B1 (*thiamine*), vitamin B2 (*riboflavin*), dan vitamin B3 (*niacin*). Timun laut juga mengandung berbagai mineral yang dibutuhkan oleh tubuh, diantaranya kalsium, magnesium, besi, dan zinc. Hewan *deposit feeder* ini memiliki keunggulan dalam hal senyawa penting yang dapat diekstrak untuk kepentingan farmakologi seperti *anti-angiogenic*, *anticancer*, *anticoagulant*, *anti-hypertension*, *anti-inflammatory*, *antimicrobial*, *antioxidant*, *antithrombotic*, *antitumor*, dan pereda pembengkakan pada luka. Tidak berhenti di situ, timun laut juga mengandung berbagai senyawa yang bermanfaat untuk terapi dan senyawa bioaktif untuk kepentingan kedokteran seperti *triterpen glikosida (saponin)*, *chondroitin sulfat*, *glikosaminoglikan (GAGs)*, *polisakarida sulfat*, *sterol (glikosida dan sulfat)*, *fenolik*, *serberosida*, *lektin*, *peptida*, *glikoprotein*, *glikosfingolipid*, dan asam lemak esensial (Bordbar *et al.*, 2011).

Sampai dengan tahun 2015, diketahui terdapat 54 jenis teripang yang rutin ditangkap dan diperjualbelikan. Salah satu primadona untuk ekspor dari Indonesia adalah jenis *Holothuria scabra* atau teripang susu. Pada periode 2016-2017 terjadi penambahan jenis teripang yang dieksploitasi sebanyak 4-5 jenis, diantaranya *Holothuria rocio maculata* atau teripang hitam (Setyastuti *et al.*, 2018).

2.1.8.3 Chordata

Filum ini memiliki keragaman tinggi (22.238 spesies laut) untuk kelompok invertebrata laut setelah *Arthropoda* dan *Mollusca*. Subfilum Tunicata termasuk ke dalam filum Chordata. Sebagian besar hewan pada subfilum ini hidup menempel pada substrat keras dan sebagian kecil lainnya hidup pelagis di kolom air.

Mereka memakan plankton yang diperoleh dengan cara mengisap air dan mengalirkannya ke dalam tubuhnya sambil menyaring organisme yang ada sebagai makanan dan mengambil oksigen untuk bernafas. Sebagian dari mereka hidup *soliter*, sebagian lainnya memperbanyak diri dengan cara

membentuk tunas dan hidup berkoloni di mana setiap individu disebut *zooid*.

Diketahui lebih dari 2.000 spesies termasuk ke dalam subfilum Tunicata dan sebagian besar dari mereka masuk ke dalam kelompok Ascidian yang hidup di kedalaman kurang dari 200 m. Umumnya mereka berukuran seperti hewan sesil di perairan dangkal pada umumnya, namun ada juga yang berukuran besar seperti jenis tulip laut *Pyura pachydermatina*, yang dapat mencapai ukuran 1 m.

Pemanfaatan

Beberapa hewan Ascidian memiliki nilai ekonomis sebagai makanan, antara lain nanas laut (*Halocynthia roretzi*) yang sudah berhasil dibudidaya. Pemanfaatan lainnya adalah untuk bidang medis seperti obat antikanker, antivirus, dan *immunosuppressant*, terutama karena kandungan zat aktif *didemnins*. Beberapa spesies Ascidian yang sudah dimanfaatkan ekstrak zat aktifnya antara lain *Trididemnum solidum* (Rinehart *et al.*, 1988), *Aplidium albicans* (Newman and Cragg, 2004), dan *Ecteinascidia turbinata* (Lichter *et al.*, 1972). Lebih jauh, riset juga sudah mengarah kepada bakteri yang bersimbion dengan tunikata seperti *Candidatus Endoecteinascidia frumentensis* (Rath *et al.* 2011), dan *Pseudomonas fluorescens* (Cuevas *et al.*, 2000).

Selain dimanfaatkan sebagai makanan dan biofarmasi, kelompok tunikata juga sudah dimanfaatkan di bidang lain seperti bahan bakar hayati (*biofuel*), bahan baku pembuatan etanol, dan sebagai pakan ikan. Di bidang riset, spesies *Ciona intestinalis* dan *Ciona savignyi* telah digunakan sebagai organisme model untuk studi biologi perkembangan. Spesies *Oikopleura dioica* termasuk salah satu metazoa terkecil, yang telah dimanfaatkan dalam studi regulasi gen dan evolusi serta perkembangan Chordata.

Beberapa jenis tunikata menjadi spesies asing invasif, seperti *Didemnum vexillum*, *Styela clava*, dan *Ciona savignyi* yang tumbuh subur di wilayah invasi dan menutup bebatuan, cangkang moluska, serta permukaan lainnya. Mereka memasuki wilayah invasi akibat terbawa kapal dan air *ballast* atau melalui jalur kegiatan budidaya laut yang melibatkan moluska di mana mereka menempel.

2.1.8.4 Porifera

Biota pada filum ini lebih dikenal sebagai spons (*sponges*), yang memiliki 8.421 spesies laut (WoRMS, Juli 2015). Spons termasuk ke dalam kelompok hewan sederhana yang tidak memiliki otot dan saraf, serta tidak berpindah manakala sudah melekat pada substrat. Mereka dapat ditemui hidup di atas berbagai substrat keras seperti bebatuan dan cangkang hewan. Di balik kesederhanaan organ tubuhnya, spons memiliki kelebihan berupa kemampuan sel spons membelah diri secara cepat untuk tumbuh lebih besar dan hidup lebih lama dibandingkan dengan protozoa bersel satu. Selain itu sel fungsional mampu bekerja secara lebih efektif dalam memproses makanan, melindungi diri, dan aktivitas untuk bertahan hidup lainnya. Hewan spons juga merupakan *filter*

feeder yang paling sederhana, karenanya harus hidup di air yang mengandung cukup nutrisi. Saat mereka melekat pada substrat di dasar perairan, mereka tidak dapat berpindah untuk mencari lokasi yang lebih baik, hanya mereka yang melekat pada cangkang hewan demersal yang dapat berpindah lokasi.

2.1.8.5 Cacing Laut

Kelompok cacing laut terdiri lebih dari 10 filum. Sebagai *deposit feeder*, kelompok ini berperan dalam oksigenasi dan hidrasi substrat, selain tentunya berperan penting dalam jejaring makanan. Kelompok cacing pipih dari filum Platyhelminthes memiliki 12.328 spesies laut, yang umumnya merupakan parasit. Hampir semua cacing pipih dalam kelas Turbellaria hidup di air dan umumnya hidup di laut. Sebagian besar hidup sebagai bentos di dalam pasir atau lumpur, atau di atas substrat keras, dan hanya sebagian kecil yang hidup sebagai plankton. Berukuran kurang dari 10 cm, cacing Turbellaria adalah karnivora yang memangsa invertebrata kecil lainnya, kendatipun saluran pencernaannya tidak sempurna, di mana satu lubang digunakan untuk memasukkan makanan sekaligus tempat pembuangan kotoran.

Cacing pada filum Gnathostomulida dikenal sebagai cacing berahang (*jaw worms*) yang memiliki 98 spesies laut (WoRMS, Juli 2015). Walaupun berkerabat dengan cacing pipih, ukurannya tidak lebih dari 2 mm. Mereka hidup di antara butiran pasir di dasar laut dan mengerik bakteri serta lapisan alga dari butiran sedimen menggunakan rahang dan lempeng basal. Mereka hermaprodit dan hidup tanpa melewati fase larva planktonik.

Karena bentuknya, biota pada filum Nemertea disebut cacing pita (*ribbon worms*) dengan 1.359 spesies laut (WoRMS, Juli 2015), umumnya hidup di laut dangkal. Cacing ini berkerabat dengan cacing pita namun memiliki struktur tubuh serta sistem saraf dan otot lebih kompleks, saluran pencernaan yang utuh, dan memiliki probosis yang berfungsi sebagai alat bertahan dan untuk menangkap mangsa. Beberapa individu dapat tumbuh hingga berukuran lebih dari 2 meter.

Filum Gastrotricha merupakan kelompok cacing berukuran sangat kecil, kurang dari 1 mm, dengan perut berambut (*hairy-bellied worms*), dan memiliki 494 spesies laut. Mereka hidup di pasir dan lumpur perairan laut dangkal serta mengkonsumsi detritus, diatom, dan hewan kecil lainnya.

Kelompok cacing dari filum Nematoda memiliki bentuk bulat (*roundworms*) yang selama ini lebih kita kenal sebagai bentuk cacing pada umumnya. Diketahui terdapat 7.145 spesies nematoda laut, yang hidup sebagai parasit maupun hidup bebas di perairan, namun umumnya hidup di dasar sedimen pada berbagai kedalaman. Sebagian besar dari mereka adalah predator bagi protozoa dan hewan laut kecil, termasuk cacing lainnya.

Filum Entoprocta memiliki 176 spesies laut yang hidup di substrat (bentik) secara berkoloni dan melapisi permukaan bebatuan, rumput laut, dan

cangkang keras hewan laut dengan kerak kapur tipis. Meski secara sekilas sangat mirip dengan filum Bryozoa, secara genetik mereka berbeda filum. Hewan Entoprocta mengkonsumsi berbagai jenis partikel berukuran kecil.

Tardigrade yang berasal dari filum Tardigrada dikenal juga sebagai beruang air (*water bear*). Kendati berukuran sangat kecil yaitu kurang dari 1 mm, mereka adalah organisme yang kompleks karena memiliki empat pasang kaki dengan cakar bercagak, namun bergerak sangat lambat. Kompleksitas juga terjadi pada sistem pencernaan dan sistem saraf. Umumnya berkembang biak secara seksual, tetapi ada juga yang berkembang biak secara partenogenesis, yaitu pembuahan sel telur tanpa adanya sperma atau pejantan.

Morfologi cacing annelida yang beruas (*segmented worms*) merepresentasikan jenis cacing secara umum. Filum Annelida (kelompok *Protostomes*, *Coelomates*) ini memiliki keragaman tinggi dengan 12.829 spesies laut (WoRMS, Juli 2015) yang hidup mulai dari intertidal hingga laut dalam. Lebih dari 50 persen atau 7.800 spesies berada di dalam kelas Polychaeta, termasuk cacing tabung *Riftia* yang hidup berasosiasi dengan *hydrothermal vent* di laut dalam. Sebanyak 40 spesies dari genus *Tomopteris* adalah holoplankton yang menghasilkan *bioluminesens* berwarna kuning (Morrissey *et al.* 2018).

2.1.9 Ikan

Ikan merupakan organisme akuatik, berdarah dingin (vertebrata poikilotermik), yang hidup di air dan bernafas dengan insang. Fishbase.org saat ini berhasil mendokumentasikan 34.200 spesies ikan di seluruh dunia (Froese dan D. Pauly, 2019). Dalam sistem klasifikasi, ikan berkerabat dekat dengan tunikata, salah satu avertebrata laut, turunan dari filum Chordata. Secara tipologi *pisces*, ikan termasuk kategori takson parafiletik, yang secara sistematika kekerabatan memiliki tetua-moyang yang sama dengan hewan berkaki empat (Tetrapoda). Namun pada konteks ikan, tetrapoda (amfibi, reptil, burung, dan mamalia) diklasifikasikan tersendiri menurut klasifikasi filogenetik.

Pada sistem kladistika, organisme akuatik lainnya yang termasuk kategori ikan adalah ikan tanpa rahang seperti belut *Lamprey* dan *Hagfish* (kelas Agnatha yang terdiri dari 75 spesies), ikan bertulang rawan, Cartilaginous (*Chondrichthyes*, 800 spesies termasuk hiu dan pari) dan ikan bertulang sejati (*Osteichthyes*, lebih dari 28.000 spesies).

Ikan telah menjadi bagian yang tak terpisahkan dengan peradaban manusia sejak zaman purba, khususnya komunitas manusia yang berinteraksi dengan ekosistem laut, estuari, sungai, rawa dan danau. Bukti suksesif interaksi tersebut dilukis dalam gua dengan bentuk *cave art*. Lukisan binatang tertua oleh manusia prasejarah dapat dilihat pada Sulawesi *Cave Art*, yang diperkirakan berumur 37.900 SM (Indonesia) dan El-Castillo *Cave Paintings*, yang diduga telah ada sejak 39.000 SM (Spanyol). Secara spesifik, jejak lukisan

Gambar 46.
Ikan *Great Barracuda*
(*Sphyræna*
barracuda: famili
Sphyrænidae), hidup
secara berkoloni
dengan distribusi
yang sangat luas
mulai dari Samudra
Hindia, Pasifik
dan Atlantik.
Ikan Barracuda
mengokupasi kolom
perairan tropis hingga
subtropis (Photo
credit: Own Work/
Hectonichus).



Gambar 47.
Lukisan arang bertajuk
ikan yang ditemukan di
Nawarla Gabarnmung,
Australia. Berdasarkan
analisis Carbon-14 dan
Thermoluminescence
bahwa metode lukisan
ini termasuk tertua di
dunia yang dilakukan
oleh Suku Aborigin
dengan memanfaatkan
pigmen organik
dari alam (Photo
credit: Jean-Jacques
Delannoy).



tertua yang mengisahkan interaksi manusia dengan ikan sebagai salah satu sumber makanan dapat dilihat pada lukisan arang tertua di dunia di wilayah Nawarla Gabarnmung (Selatan barat daya Arnhem Land, Australia) yang diperkirakan berumur 24.000 tahun (Gunn *et al.*, 2012).

Bentuk morfologi ikan purba primitif dapat kita jumpai lewat preservasi fosil. Dokumentasi sains melaporkan bahwa *Metaspriggina walcotti* adalah jenis ikan tertua di dunia yang hidup sekitar 518 juta tahun lalu, fosil ikan ini ditemukan di Marble Canyon, British Columbia, Kanada (Morris dan Caron, 2014). Jenis ikan *M. walcotti* memiliki ukuran panjang total 6 cm dengan bentuk kepala mengerucut ke depan dan dilengkapi dengan dua pasang hidung, berdasarkan analisis kranial anatomi, ikan ini dapat melakukan pernapasan dengan menggunakan tujuh pasang tapis insangnya. Ikan tertua kedua adalah *Entelognathus primordialis* yang diperkirakan hidup sekitar 419 juta tahun lalu di Laut Cina (Zoo *et al.*, 2013). Jenis ikan *E.*



Gambar 48.
Fosil ikan Purba
Coelacanth representatif
grup ikan Lobifin periode
Devonian yang hidup
sekitar 390 juta tahun
silam. Ilmuwan menduga
bahwa Coelacanth telah
punah bersamaan dengan
kepunahan dinosaurus
sekitar 66 juta tahun lalu.
Ikan Coelacanth hidup
ditemukan pada 1938
di Afrika dan 1998 di
Indonesia (Photo credit:
James St John).

primordialis diperkirakan memiliki panjang total 20 cm dengan mata yang kecil dan tidak memiliki gigi.

Ikan mengalami evolusi morfologi selama jutaan tahun. Kelompok Ikan yang tidak mampu beradaptasi dengan perubahan iklim dan lingkungan akan mengalami kepunahan. Jenis-jenis ikan yang telah punah dapat dilihat lewat dokumentasi fosil di museum, contohnya *Macropoma lewesiensis* yang didepositkan di Museum Natural History London, Inggris. Proses fosilisasi ikan atau hewan lainnya sangat variatif yang dimulai dengan kematian individu, dalam kurun waktu yang singkat tubuh ikan tertimbun lumpur di mana daging dan organ lunak lainnya terurai dan menyisakan kerangka dan tulang keras. Seiring dengan waktu yang sangat panjang, kerangka tertimbun dengan sedimen hingga akhirnya mengeras dan membatu.

Pada September 2016, IUCN *Red List* melaporkan bahwa 65 spesies telah dinyatakan punah secara permanen, 87 spesies diduga mengalami laju kepunahan yang signifikan dan 6 spesies lainnya telah dinyatakan punah dari alam. Namun demikian, beberapa spesies ikan purba masih dapat kita jumpai saat ini (*living fossil*) seperti ikan Coelacanth, Lungfish, dan Chimaeras. Ikan purba Raja Laut atau Coelacanth (*Latimeria chalumnae*: Latimeriidae) terdiri dari dua spesies. Spesies pertama dapat ditemukan di perairan tenggara Afrika (Afrika Selatan, Madagaskar, Mozambik, dan Komoro). Sedangkan spesies lainnya *Latimeria menadoensis* ditemukan di bagian timur Indonesia (Manado, Raja Ampat, dan Biak). Selain itu, ikan berparu atau *lungfish* terdiri dari 2 famili (6 spesies) yaitu Lepidosirenidae yang dapat ditemukan di perairan air tawar Amerika selatan dan Afrika), sedangkan famili Ceratodidae dapat ditemukan di bagian tenggara Queensland, Australia. Ikan *lungfish* dapat bertahan hidup pada kondisi ekstrim ekosistem air tawar di mana ketersediaan oksigen sangat rendah, kemampuan adaptasi ini ditunjang oleh organ paru-parunya yang

merupakan hasil modifikasi dari gelembung renang (*swim bladder*) yang dipakai untuk bernafas dan mengeluarkan kotoran.

Cara adaptasi yang paling fenomenal adalah *African lungfish* yang dapat bertahan hidup di dalam tanah yang kering selama 2 tahun. Sedangkan *Chimaeras* adalah spesies ikan laut dalam, memiliki tetua dan kerabat dekat dengan ikan hiu yang dipercaya telah berada di muka bumi sejak 400 juta tahun silam. *Chimaeras* terdiri dari 3 famili yaitu *Callorhynchidae*, *Chimaeridae*, dan *Rhinochimaeridae*. Grup spesies *Chimaeras* dapat tumbuh berkembang hingga mencapai 150 cm.

Secara morfologi, hiu paus *Rhincodon typus* (Rhincodontidae) merupakan ikan yang berukuran paling besar di dunia, yang dapat tumbuh mencapai 12 meter dengan berat 20 ton. Hiu paus dapat ditemukan di perairan laut tropis dan jarang ditemukan pada kolom perairan dengan suhu di bawah 21°C. Jenis *R. typus* mampu berenang hingga kedalaman 1.200 m dan dapat bertahan hidup dalam kurun waktu yang relatif lama antara 70-130 tahun, jenis hiu paus ini memakan plankton dan ikan-ikan kecil.

Sedangkan ikan terkecil di dunia adalah *Paedocypris progenetica* (Cyprinidae), suatu spesies endemik air tawar yang hidup pada rawa genangan di sekitar Muara Sabak, Jambi, Sumatra. Spesies ini juga dapat ditemukan di Pulau Bintan. Jenis ikan unik ini diketahui telah mengalami matang gonad pada ukuran panjang 7.9 mm. Ikan yang berukuran sangat kecil lainnya yaitu dua spesies ikan laut, *Schindleria brevipinguis* (*Schindleriidae*) dan *Photocorynus spiniceps* (*Linophrynidae*).

Gambar 49. Ikan terkecil di dunia, *Paedocypris progenetica* atau dikenal dengan "baby carp" adalah spesies unik yang hidup di hutan rawa genangan di Sumatra. Jenis ikan ini memiliki panjang total kurang dari 8 mm. Status vertebrata terkecil di dunia sempat bertahan (2006-2012) beberapa tahun sebelum ditemukannya katak terkecil sejagat *Paedophryne amauensis* dengan ukuran 7 mm (Photo credit: Lukas Rüber/MNHB).



Ikan hidup pada kisaran spektrum perairan yang luas, baik itu air tawar, payau dan laut. Ikan dapat ditemukan pada ketinggian 5.000 m dan pada kedalaman 11.000 meter (Rahardjo *et al.*, 2011). Ikan laut penghuni laut dalam seperti *Pseudoliparis swirei* (Liparidae) dan *Echiodon neotes* (Carapidae) dapat ditemukan pada kedalaman lebih dari 8.000 meter di Palung Mariana bagian barat Samudra Pasifik. Kaitannya dengan presensi fosil dan invasi ikan di pegunungan tinggi, pada tahun 1998, para ilmuwan menemukan fosil paus di atas pegunungan Himalaya yaitu *Himalayacetus subathuensis* (Ambulocetidae).

Berdasarkan hasil rekonstruksi masa lampau, awalnya, spesies Cetacea ini mendiami garis pantai purba Tethys selama jutaan tahun silam hingga akhirnya lempeng India bertubrukan dengan mikro benua Cimmerian, hasil tubrukan ini mengakibatkan terbentuknya pegunungan tertinggi di dunia tersebut dan mendepositkan fosil *H. subathuensis* (Bajpai dan Gingerich, 1998). Selain itu, ikan salmon *Oncorhynchus clarkii lewisi* (Salmonidae) dilaporkan mampu menginvasi sungai dan air terjun di pegunungan tinggi (Boyer *et al.*, 2008).

Diversitas

Keanekaragaman hayati tersebar di penjuru belahan dunia. Tingkat keanekaragaman hayati tersebut umumnya ditemukan di beberapa negara tropis. Dalam konteks kekayaan biodiversitas, www.acivesustainability.com melaporkan 17 negara terkaya yaitu Brazil, Kolombia, Ekuador, Meksiko, Peru, Venezuela, Amerika Serikat, Cina, Indonesia, India, Filipina, Malaysia, Madagaskar, Kongo, Afrika Selatan, Australia, dan Papua Nugini. Walaupun luas kesepuluh negara di atas hanya mewakili 10 persen permukaan bumi, namun menjadi rumah bagi 70 persen biodiversitas sejagat. Pada tahun 2016, www.mongabay.com memberikan pemeringkatan secara akurat terkait negara-negara yang memiliki tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di dunia dan menempatkan posisi Indonesia pada ranking 3 setelah Brazil dan Kolombia. Pada konteks ini, Indonesia memiliki diversitas spesies mamalia tertinggi di dunia (12,2 persen). Sedangkan negara-negara yang memiliki diversitas spesies ikan tertinggi di dunia, kami menganalisis diversitas iktiologi tersebut dengan menggunakan data www.fishbase.org (2019).

No	Negara	Ikan air tawar	Ikan laut	Total
1	Australia	365	4643	5008
2	Indonesia	1243	3611	4854
3	Brazil	3464	1226	4690
4	Filipina	346	3093	3439
5	China	1605	1809	3414
6	Amerika Serikat	965	2185	3150
7	Papua New Guinea	354	2581	2935
8	Meksiko	572	2111	2683
9	India	994	1668	2662
10	Kolumbia	916	1215	2131
11	Afrika Selatan	179	1945	2124
12	Malaysia	622	1356	1978
13	Venezuela	933	818	1751
14	Peru	900	693	1593
15	Kongo	1122	394	1516
16	Madagaskar	173	1038	1211
17	Ekuador	401	734	1135

Tabel 3. Peringkat negara-negara yang memiliki keanekaragaman spesies ikan di dunia, data didasarkan pada 17 negara representatif benua Amerika, Afrika, Asia dan Oceania. Data diekstrak dari *Generic Classification of Indonesian Marine Fishes* (GECIM Fishes, 2019).

Indonesia menduduki peringkat ke-2 setelah Australia sebagai *mega-ichthyiodiversity country*, dengan total 4.854 spesies yang terdiri dari 1.243 spesies air tawar dan 3.611 spesies air laut. Australia memiliki sumber daya ikan laut tertinggi sebesar 4.643 spesies, sedangkan Brazil memiliki keanekaragaman ikan air tawar lebih dominan sebesar 3.464 spesies. Tingginya keanekaragaman spesies ikan laut sepadan dengan luas lautan Indonesia yang dijuluki sebagai negara *archipelago* terbesar di dunia.

Ikan air tawar Indonesia terdiri dari 80 famili, 332 genus dan 1.243 spesies. Keanekaragaman tersebut didominasi oleh famili Cyprinidae (236 spesies), Gobiidae (117 spesies), Osphromidae (79 spesies), Melanotaeniidae (55 spesies), dan Balitoridae (48 spesies).

Sedangkan ikan air laut terdiri dari 249 famili, 1074 genus dan 3.611 spesies. Keanekaragaman tersebut didominasi oleh famili Gobiidae (412 spesies), Labridae dan Pomacentridae (199 spesies), Apogonidae (160 spesies), Serranidae (137 spesies), dan Blennidae (123 spesies). Berdasarkan data Fishbase 2019 bahwa dari total 4.854 spesies ikan yang dimiliki Indonesia, hanya 41 spesies yang telah dibudidayakan secara luas. Selain itu, hanya 22 spesies yang diperjualbelikan sebagai ikan hias dan sekitar 846 spesies lainnya berpotensi sebagai ikan hias.

Kaitannya dengan status konservasi (IUCN Redlist) dan perdagangannya (CITES), spesies ikan Indonesia yang terancam terdiri dari 11 spesies termasuk kategori Kritis Terancam Punah (*Critically endangered*), 20 spesies kategori Terancam (*Endangered*), 103 spesies rentan punah (*Vulnerable*) dan 9 spesies masuk ke dalam daftar CITES.

Klasifikasi

Komisi Nomenklatur dan Nomenklatur spesies

Komisi Internasional Nomenklatur Zoologi atau disebut *International Commission on Zoological Nomenclature* (ICZN) adalah organisasi non-pemerintah yang didedikasikan untuk mengatur tata nama nomenklatur spesies (www.iczn.org). Organisasi ini didirikan pada 1895 yang terdiri dari 27 anggota dari 19 negara, anggota komisi berasal dari latar belakang ahli taksonomi zoologi. Sejak 2014, markas kecil ICZN berkedudukan di National University of Singapore (NUS). ICZN mempublikasikan *Code of Zoological Nomenclature*, atau dikenal luas ICZN Code, yang memberikan tata laksana penamaan resmi suatu spesies animalia.

Di sisi lain, dikenal pula *International Code of Botanical Nomenclature* (ICBN) yang memiliki tujuan similar dengan ICZN, namun difokuskan pada diktum penamaan spesies tumbuhan (Botani). Pada 2011, Komisi ICBN berganti nama menjadi *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (ICN) yang memperluas cakupan *kingdom* organisme meliputi jasad alga, jamur dan tumbuhan.

Pada konteks pemberian nama spesies, ICZN code menekankan enam prinsip tata laksana penamaan yaitu:

1. Prinsip Binomial nomenklatur

Prinsip ini sangat umum digunakan dalam bidang zoologi sistematis selama ratusan tahun. Sistem penamaan Binomial ditemukan oleh Carl Linnaeus (1707–1778), seorang ahli Botani asal Swedia.

Tata nama spesies secara Binomial adalah cara pemberian nama spesies dengan kombinasi nama yang terdiri dari nama generik (*generic name*) dan nama spesifik (*specific name*). Pada sistem ini, hanya nama spesies yang mengandung dua nama, sedangkan sistem penamaan sebelum spesies hanya diperbolehkan satu nama meliputi klasifikasi genus, famili, ordo, kelas, filum, dan kerajaan.

Mengingat beberapa spesies yang masih dalam kategori berkerabat dekat memiliki cara adaptasi yang berbeda termasuk pola migrasi, kolonisasi spektrum habitat (perairan dan ketinggian daratan), cara makan dan reproduksi, sehingga spesies tersebut dikategorikan spesies kompleks. Fenomena spesies kompleks ini memicu belum cukupnya karakter morfologi dan genetik berbeda secara signifikan (diagnostik). Kejadian ini berimplikasi pula pada penamaan spesies pada level subspecies (*subspecific name*), di mana nama spesies mengandung tiga nama.

Contoh sistem Binomial adalah hiu paus *Rhincodon typus* Smith, 1828. Nama spesies ditulis miring yang bertujuan untuk memberikan tanda pembeda dengan kata, gabungan kata atau kalimat dalam suatu teks. “*Rhincodon*” mengacu pada nama genus (*generic*), sedangkan “*typus*” mengacu pada nama spesies (*specific*). Sedangkan nama “Smith, 1828” mengindikasikan bahwa Mr. Smith adalah orang yang pertama kali menemukan dan mendeskripsikan ikan hiu paus dan mulai dipublikasikan secara saintifik pada tahun 1828. Teknik penamaan serupa dapat kita lihat pada spesies ikan *Melanotaenia arguni* Kadarusman, Hadiaty & Pouyaud, 2012, di mana spesies ini ditemukan oleh tiga taksonomis.

Pada level subspecies, salah satu contoh terbaik adalah ikan sidat *Anguilla bicolor* McClelland, 1844, yang saat ini dikenal telah memiliki dua subspecies yaitu *Anguilla bicolor bicolor* dan *Anguilla bicolor pacifica*. Kedua spesies tersebut memiliki kekerabatan yang sangat dekat namun menunjukkan variasi karakter genetik dan morfologi (*shortfin*) yang agak berbeda. Penamaan ini penting untuk multitujuan baik itu pengelolaan stok maupun pasar atau nilai ekonominya. Selain perbedaan karakter morfologi dan genetik, penamaan binomial seperti ini didasari pula oleh perbedaan habitat, sebaran dan pola migrasinya.



Gambar 50. Carl Linnaeus (1707–1778) dikenal luas sebagai bapak taksonomi modern yang menemukan sistem penamaan Binomial Nomenklatur, di mana sistem ini dipakai oleh ilmuwan biologi sejak ratusan tahun silam hingga saat ini. Linnaeus seorang ahli botani berkebangsaan Swedia, penulis dari karya publikasi monumental *Systema Naturae*, 10 edisi yang menghimpun 4.400 spesies hewan dan 7.700 tumbuhan.

Gambar 51. Spesies kompleks ikan kuniran *Mulloidichthys flavolineatus*, famili Mullidae, yang memiliki sebaran yang sangat luas di perairan laut tropis. Saat ini memiliki 11 kerabat spesies dan dua subspecies (Foto: Wikipedia).



2. Prinsip prioritas

Prinsip ini pertama kali mengemuka pada 1842 oleh naturalis Inggris Hugh E. Strickland yang memberikan contoh kasus, ada dua spesies gastropoda yaitu *Limax maculatus* Nunneley, 1837 dan *Limax maximus* Linnæus 1758, kedua spesies ini direview secara redescription systematic oleh ilmuwan saat ini dengan perbedaan karakter yang relatif minor hingga akhirnya menempatkan bahwa *Limax maculatus* adalah junior sinonim dari *Limax maximus* dan mengusulkan bahwa nama spesies yang diterima adalah *Limax maximus* mengingat spesies ini ditemukan Linnaeus jauh lebih lama daripada penemuan Nunneley (1758 versus 1837). Kasus seperti ini terjadi pada jutaan spesies.

3. Prinsip koordinasi

Prinsip ini berlaku bagi organisme grup kompleks, baik pada level famili, genus maupun spesies, di mana nama penemunya disematkan yang sama secara simultan. Pada level spesies grup, contohnya *Mulloidichthys flavolineatus* (Lacépède, 1801) juga menampilkan subspecies *Mulloidichthys flavolineatus flavolineatus* (Lacépède, 1801) (*yellow-stripe goatfish*) di mana dalam tata penulisan nama spesifik "*flavolineatus*" ditulis dua kali yang menunjukkan bahwa ada spesies yang berkerabat dekat yang membentuk spesies kompleks, pada kondisi ini, penemu (Lacépède, 1801) ditulis dalam kurun yang mengindikasikan telah diulas atau telah mengalami redeskripsi sistematik oleh peneliti lain, dan sesuai tata aturan nomenklatur tetap menggunakan nama penemu aslinya yang pertama kali menemukan atau mendeskripsi spesies ini pada tahun 1801.

Masih dalam spesies kompleks *Mulloidichthys flavolineatus*, peneliti lain mendeskripsi subspecies baru *Mulloidichthys flavolineatus flavicaudus* Fernández-Silva & J. E. Randall, 2016 (*Yellow-tail goatfish*) yang berasal dari populasi lainnya tapi masih memiliki ikatan kekerabatan yang dekat. Dengan demikian, peneliti lainnya dapat mendeskripsi dan memberikan nama subspecies pada populasi lainnya dengan mengikuti prinsip-prinsip diagnosa karakter suatu populasi.

4. Prinsip *reviser* pertama

Prinsip ini bersifat sebagai resolusi pada beberapa kasus penamaan spesies sekaligus menjadi aturan tambahan pada prinsip prioritas. Prinsip *reviser* pertama mensyaratkan untuk menggunakan publikasi penamaan yang pertama dideskripsikan.

Sejak ratusan tahun lalu, beberapa ilmuwan memberikan nama yang berbeda pada takson yang sama atau populasi spesifik, bahkan memiliki dua atau lebih nama pada ejaan nama takson. Sebagai contoh, pada tahun 1758, Linnæus mendeskripsi *Strix scandiaca* dan *Strix noctua* yang didasari oleh spesimen tipe (*type specimen*) yang berbeda. Beberapa tahun kemudian diketahui bahwa kedua spesies tersebut dinyatakan satu spesies saja. Lönnberg 1931 yang melakukan revisi sistematis dan memilih takson yang pertama kali dideskripsi *Strix scandiaca* menjadi spesies yang diutamakan valid.

5. Prinsip homonimi

Pemberian nama spesies harus unik sesuai dengan karakteristik spesies tersebut. Seorang ilmuwan taksonomis beberapa abad yang lalu mampu mendeskripsi ratusan jenis baru, dan dapat dipublikasikan di jurnal atau buku mana saja. Konsekuensinya, banyak spesies dan nama genus memiliki nama yang sama. Hal ini tidak dapat dipungkiri karena keterbatasan banyak hal pada masa itu untuk mengecek setiap publikasi yang terbit secara periodik di beberapa negara.

Kesamaan nama genus dan bahkan spesies tersebut dapat ditemukan di beberapa kelompok hewan, contohnya nama genus *Argus* Poli, 1791 pada hewan kekerangan (Bivalvia), di mana nama genus *Argus* tersebut digunakan pula pada kelompok burung (*Aves*) yaitu *Argus* Temminck, 1807. Jika Homonimi ini ditemukan pada grup hewan yang sama atau berkerabat dekat, maka berlaku hukum Homonimi Primer dan Sekunder, di mana spesies yang dideskripsi belakangan menjadi junior sinonimi dan menjadi takson yang tidak valid, takson yang valid dan diterima untuk *citation system* adalah spesies yang pertama kali dideskripsi.

6. Prinsip spesimen tipe

Spesimen tipe (*type specimen*) adalah bahan atau material contoh yang menjadi dasar utama deskripsi dan penamaan spesiesnya, yang umumnya

didepositkan di Museum Natural History setiap negara. Setiap nama grup famili harus memiliki *type genus*, tiap grup genus memiliki *type species*, dan tiap grup spesies sebaiknya memiliki spesimen tipe baik itu *holotype*, *lectotype*, *neotype*, *syntypes*. Pada level grup familial cukup menempatkan akhiran “-iade” pada bagian akhir kata yang menandakan level klasifikasi famili contohnya *Carcharhinidae* (hiu) dan memiliki beberapa tipe genus yaitu *Carcharhinus Blainville*, 1816.

Berdasarkan sistem binomial, pemberian nama suatu spesies dapat mengikuti beberapa aturan antara lain:

- ❖ Penggunaan nama latin, teknik penamaan seperti ini banyak kita jumpai pada pekerjaan taksonomi beberapa abad yang lalu, contohnya *Rhincodon typus* yang berasal dari kata “*rhyngchos*” artinya memarut atau menusuk dan “*odous*” artinya gigi.
- ❖ Penggunaan bahasa Indonesia atau simbol-simbol suatu peradaban bangsa, contohnya *Megalara garuda*.
- ❖ Menggunakan nama seseorang, ilmuwan, tokoh perjuangan, *Paracheilinus rennyae* Allen, Erdmann & Yusmalinda (2013), untuk mengenang semangat dan perjuangan taksonomis Indonesia Dr. Renny K. Hadiaty.
- ❖ Penggunaan nama daerah, nama teluk, laut bahkan nama sungai di mana spesies itu ditemukan contohnya *Melanotaenia arguni* Kadarusman, Hadiaty & Pouyaud, 2012, yang mengabadikan nama Teluk Arguni, Kabupaten Kaimana, Papua Barat.
- ❖ Menggunakan nama suatu lembaga ataupun perusahaan, contohnya *Melanotaenia synergos* Allen & Unmack, 2008 yang mengabadikan nama lembaga swadaya masyarakat “*Synergos*” yang bergerak dalam bidang kesejahteraan masyarakat marjinal.

Sebaran Spesies

Spesiasi merupakan salah satu proses evolusi di mana suatu populasi membentuk populasi tersendiri dengan cara adaptasi yang berbeda, dimulai dengan memisah dari populasi moyangnya dalam waktu yang lama hingga akhirnya membentuk spesies baru. Spesiasi umumnya berlangsung lama hingga jutaan tahun, namun dapat juga berlangsung ribuan tahun karena adanya pengaruh faktor lingkungan.

Di alam, model spesiasi suatu populasi yang terisolasi antara satu sama lain dapat dibagi menjadi 4 kategori geografis yaitu *allopatric*, *peripatric*, *parapatric*, dan *sympatric*.

Sebaran berdasarkan tipe perairan. Ikan mampu menginvasi ragam habitat perairan dan kondisi lingkungannya pada perairan air tawar, payau dan laut. Beberapa spesies ikan dapat dijumpai pada ekosistem pantai (berpasir, berlumpur atau berbatu) dan ekosistem lainnya seperti terumbu karang,

padang lamun, mangrove, sungai, danau, rawa genangan, di bawah gunung es, palung laut dalam.

Sebaran berdasarkan lapisan perairan laut. Ikan dapat ditemukan pula di seluruh lapisan perairan, baik itu di kolom air bagian atas, yang disebut pula zona pelagik (pantai dan oseanik). Ikan yang hidup pada zona ini disebut pula ikan pelagis, yang umumnya dicirikan dengan pergerakannya yang dapat berpindah tempat atau bermigrasi dalam kurun waktu tertentu. Ikan pelagis contohnya ikan teri *Stolephorus* spp., dan ikan *Thunnus alalunga*. Lingkungan pelagis laut adalah habitat akuatik terbesar di muka Bumi, yang mengokupasi 1.370 juta kilometer kubik (330 juta mil kubik) dan menjadi rumah bagi 11 persen spesies ikan laut.

Selain itu, dikenal pula zona perairan demersal atau dasar perairan (laut dan atau danau). Ikan-ikan yang hidup pada zona habitat ini disebut ikan demersal, yang dicirikan dengan adaptasi, dan spektrum kehidupannya berada di dasar perairan. Salah satu contohnya adalah ikan pari totol biru *Taeniura lymma*. Ikan demersal umumnya memiliki kandungan minyak ikan yang jauh lebih sedikit sekitar 1-4 persen dibandingkan dengan ikan pelagis yang mencapai 30 persen.

Zona laut dalam adalah spektrum perairan unik, yang ditandai dengan minimnya atau ketiadaan penetrasi cahaya matahari dan tekanan yang tinggi. Ikan-ikan yang hidup pada zona laut dalam ini dikenal dengan ikan laut dalam, yang bentuk tubuhnya agak memanjang, bulat, atau dengan ciri morfologi yang aneh. Spesies ikan laut dalam memiliki cara adaptasi yang ekstrim, bahkan beberapa spesies menghasilkan mini lampu untuk berenang. Pada kedalaman 1.000 m, ketersediaan plankton sangat menipis (1 persen) dibandingkan dengan zona pelagis. Pada kedalaman 5.000 m ketersediaan plankton sebagai sumber makanan drastis mencapai 0,01 persen.

Diadromus

Diadromous merupakan istilah untuk merujuk pada sifat migrasi ikan yang berpindah antar massa air berbeda salinitas. *Diadrome* artinya dua rumah. Jadi ikan *diadromous* adalah ikan yang memiliki sifat dan kemampuan adaptif pada dua lingkungan yang berbeda baik air tawar maupun air laut. Ikan *Diadromous* memiliki kemampuan untuk beradaptasi pada kondisi salinitas yang luas (*Euryhaline*). Golongan ikan-ikan Eurihalin sangat terbatas, contohnya ikan sidat, salmon, tilapia, dan ikan gobi. *Diadromous* terbagi ke dalam dua golongan yaitu *Anadromous* dan *Katadromous*. *Anadromous* adalah spesies ikan yang menghabiskan hidupnya untuk tumbuh dewasa di laut dan berpindah atau mencari air tawar untuk melakukan reproduksi seperti ikan salmon, *sea-lamprey*, ikan trout, ikan kuwe, dan belanak. Untuk beradaptasi dengan lingkungan yang baru (air tawar), ikan-ikan ini banyak minum air dan mengeluarkan urin yang pekat dan juga mengeluarkan ion-ion garam melalui saluran ekskresi.

Gambar 52. Siklus umum pada ikan, dimulai dari fase telur hingga fase induk siap memijah (Diadaptasi dari www.heavenandearthaquaponics.com).



Spesies *Anadromous* dan *Katadromous* dijuluki dengan ikan migrasi karena kebiasaannya pindah dari lingkungan air laut ke air tawar atau sebaliknya. Ikan biasanya bermigrasi karena pertumbuhan ataupun kebutuhan reproduksi. Ikan *diadromous* ini juga bersifat *euryhaline* karena kemampuannya dapat hidup di lingkungan salinitas tinggi maupun rendah.

Siklus Hidup

Hampir 97 persen ikan di dunia bersifat ovipar, di mana telur-telur berkembang di luar tubuh indukannya. Pada proses reproduksi, ikan jantan dan betina sama-sama melepaskan sel kelamin ke dalam air, kemudian terjadi pembuahan dan menetas. Beberapa spesies memelihara sarang dan memberikan perawatan dan perlindungan terhadap telur-telurnya, tetapi sebagian besar spesies ikan tidak merawat telur-telurnya, hanya disemburkan ke dalam lapisan perairan. Ada beberapa spesies seperti ikan tilapia, memelihara telur dan larvanya di dalam mulut. Namun, ada juga beberapa spesies yang bersifat hermiprodit, di mana jenis ikan ini memiliki testis dan indung telur yang berfungsi baik secara bersamaan.

Sama halnya dengan makhluk hidup lainnya, proses siklus hidup ikan bertujuan untuk mempertahankan generasinya dengan cara berkembang biak. Secara umum, siklus hidup ikan terdiri dari 3 fase (Kendall *et al.*, 1984):

Telur. Awal mula siklus hidup ikan dimulai dari fase telur yang siap dibuahi. Setelah telur dibuahi, maka akan terbentuk embrio. Kemudian, sel mulai membelah, lalu jaringan dan organ tubuh mulai terbentuk, mulai dari organ mata hingga bentuk ekor. Selanjutnya, ekor akan membungkus atau melingkar ke bagian kepala. Pada saat waktu penetasan selesai, ekor embrio akan keluar dari mahkota sel secara pelan-pelan. Telur menetas di dalam kantong kuning telur, umumnya pula ikan yang baru saja menetas memiliki cadangan makanan yang dimuat ke dalam kantong kuning larva (*yolk sac*). Selanjutnya embrio berubah menjadi larva yang dapat berenang bebas.

Larva. Sebenarnya, tahap larva dimulai ketika larva kecil telah menyerap atau memakan sediaan makanan dalam kuning telurnya. Kuning telur tersebut berfungsi sebagai sumber nutrisi selama beberapa hari sebelum larva-larva tersebut dapat mencari makan secara mandiri. Kantong kuning telur menjadi sediaan makanan spesifik untuk satu hingga dua minggu kedepannya. Ciri-ciri fase larva dimulai dari menetasnya telur sampai dimulainya pertumbuhan sisik (*squamation*). Selain itu, fase larva dimulai pula pada kemunculan *notochord* yang terkait dengan pembentukan sirip ekor di sisi ventral tepatnya pada sumsum tulang belakang yang mulai berkembang dan menjadi fleksibel. Setelah mulut larva terbentuk dan mata mulai berkembang, larva dapat memakan organisme atau partikel dalam air. Sebelum kantung kuning telur benar-benar hilang, larva kecil ini biasanya sudah mampu makan secara mandiri.

Ketika larva-larva telah berkembang ke fase di mana larva mampu mencari makan secara mandiri, larva/anakan ikan tersebut disebut *fry*. Ketika, larva/anakan ikan telah mengembangkan sisik dan sirip dengan fungsi yang baik maka sesungguhnya fase transisi ini sudah dapat dikategorikan fase ikan remaja (*fingerling*). Ukuran *fingerling* biasanya seukuran jari. Tahap remaja berlangsung sampai stadia ikan menuju dewasa, dengan kata lain dewasa secara seksual dan berinteraksi dengan ikan dewasa lainnya.

Ikan Dewasa. Fase ini merupakan akhir dari tahapan larva, di mana karakteristik ikan dewasa sudah mulai tampak. Seperti bentuk tubuh, warna, sirip, organ lengkap, disertai dengan pola tingkah laku yang sangat berbeda dengan fase/stadia sebelumnya.

Proses perkembangan dan tahapan tiap fase siklus hidup ikan di atas sangat dipengaruhi oleh faktor internal (fisiologis) dan faktor eksternal (lingkungan). Kedua faktor tersebut turut menunjang proses perkembangan ikan, mulai dari telur hingga menjadi dewasa.

Tingkah Laku

Bahasan tentang tingkah laku ikan tergolong sangat kompleks karena melibatkan multidisiplin ilmu. Pada konteks ini, bahasan tingkah laku diarahkan untuk memberikan detail penjelasan terkait dengan tingkah laku ekologis, suatu interaksi *behavioural* biota ikan dengan lingkungannya.

Ikan melakukan ragam tingkah laku untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya yang mengerucut pada dua hal besar, yaitu pertama, *Reproductive behavior* yang bertujuan untuk mendukung kesuksesan proses regenerasi keturunan, kedua, *Feeding behavior* yang bertujuan untuk mendapatkan energi secara maksimal untuk pemenuhan energi secara individual, anakan, populasi dan komunitasnya.

Secara spesifik, *behavioral ecology* mencakup fenomena interaksi ikan dalam 6 hal, yaitu:

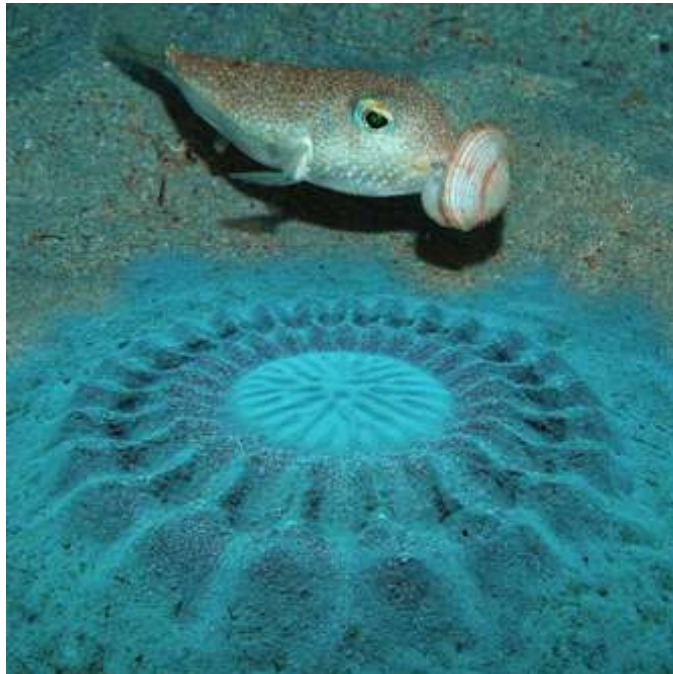
1. Kompetisi untuk mendapatkan makanan (*Competing for resources*)

Sumber makanan di perairan sangat melimpah, namun jika ukuran suatu populasi sangat besar pada suatu kawasan, di mana ketersediaan makanan relatif kurang, maka pada stadia inilah terjadi konflik, baik individu, populasi maupun antar komunitas biota akuatik. Ketersediaan makanan sangat berkaitan erat dengan pemenuhan energi dan kelangsungan anakan/generasi, atas asas tersebut beberapa spesies bahkan grup spesies mencari strategi untuk mendapatkan, mempertahankan sumber makanan tersebut, seperti cara mendapatkan makanan pada ikan betok laut (*Stegastes nigricans*). Beberapa spesies menerapkan beberapa taktik untuk mendapatkan makanan bahkan kongsi monopoli sumber makanan tertentu dan pada musim tertentu.

2. Seleksi seksual (*Sexual selection*)

Seleksi seksual mengindikasikan adanya pemilihan pasangan untuk bereproduksi yang dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu pertama, pemilihan pasangan berdasarkan sumber daya (*mate choice by resources*), di mana cakupan sumber daya tersebut meliputi sarang, makanan, dan tempat berlindung. Salah satu contoh fenomenal adalah ikan buntal atau *pufferfish*. Jenis ikan ini terdiri dari 120 spesies yang hidup pada hampir semua tipe perairan. Spesies ini mempertahankan dirinya dari serangan predator dengan cara menggelembungkan tubuhnya seperti balon yang dilengkapi dengan pemancangan duri-durinya.

Gambar 53. Ikan *Pufferfish* Jepang (jantan) sedang membuat sarang yang indah untuk menarik perhatian betina melakukan pemijahan. Sarang dikonstruksi pada substrat berpasir dengan memanfaatkan partikel-partikel kecil dan relevan di lingkungan terdekatnya dan membentuk pola unik (*Photo credit: www.pinterest.com*).



Di sisi lain, ikan *pufferfish* memiliki cara unik dan fantastis pada saat menjelang pemijahan. Di mana pada proses ini sang jantan memanfaatkan siripnya untuk membuat pola sarang cinta yang sangat indah dengan arsitektur yang memukau. Ikan buntal jantan membutuhkan sekitar 7-10 hari untuk membuat sarang yang romantis. Ikan jantan menggunakan keluwesan sirip dada, dorsal dan sirip kaudal untuk membuat pola yang indah tersebut. Selain itu, ikan ini juga mendekorasi sarangnya dengan memanfaatkan serpihan partikel atau cangkang kerang di sekitarnya, dan menyusunnya dengan teratur dan simetris, serta pola dan corak warna yang relevan. Selama proses ritual tersebut, betina menyaksikan usaha jantan pada detik-detik finalisasi konstruksi sarang romantis tersebut.

Selain itu, dikenal pula pemilihan pasangan berdasarkan gen (*mate choice by genes*). Fenomena ini dapat kita lihat pada pemijahan ikan Cupang (*Betta spp.*) di mana Cupang betina memiliki daya telusur yang sangat kuat terkait ikan jantan manakah yang memiliki performa genetik yang baik, performa tersebut dapat dilihat pada variasi warna dan tingkat agresifitas ikan jantan yang sangat beragam. Ikan cupang jantan selalu terlibat pertikaian sengit untuk mendapatkan jodoh betina. Cupang betina akan memilih ikan jantan yang menang dalam pertarungan tersebut (Doutrelant & McGregor, 2000).

3. Konflik seksual (*Sexual conflict*)

Fenomena ini dapat kita lihat pada kuda laut *Pygmy Seahorse*, contohnya *Hippocampus bargibanti* di mana kuda laut jantan yang mengasuh anaknya (*offspring*) dalam kantung tubuhnya bagian depan, selama proses tersebut kuda laut *pygmy* betina tidak banyak memberikan kontribusi selama perkembangan anakan generatifnya.

Kuda laut terkecil di dunia ini memiliki strategi reproduksi yang unik yaitu:

- ❖ Jantan dan betina memiliki tingkah laku yang berbeda dengan tujuan untuk meningkatkan kelangsungan hidupnya.
- ❖ Jantan melakukan beberapa kali frekuensi pemijahan terhadap betina yang bertujuan untuk meningkatkan keberhasilan reproduksi.
- ❖ Betina melakukan serangkaian pemilihan jantan yang pantas menjadi pasangan untuk memijah.
- ❖ Pada beberapa kasus, terjadi konflik seksual.
- ❖ Seleksi seksual terbagi kedalam 2 tipe, yaitu interseksual (antar jenis kelamin, di mana betina memilih jantan yang cocok) dan intraseksual (satu jenis kelamin, di mana jantan berkompetisi mendapatkan betina) bahkan satu ekor jantan menguasai beberapa betina. Hubungannya dengan daya tarik dan konflik seksual, preferensi betina terhadap jantan sangat dipengaruhi oleh penampakan morfologi (totol, pola tubuh dan warna) serta tingkah laku.

4. Asuhan dan konflik famili (*Parental care and family conflicts*)

Parental care pada beberapa jenis hewan berbeda-beda, demikian halnya pada beberapa jenis ikan. Ada beberapa contoh terkait dengan pola suhan anakan dan bahkan konflik dalam satu famili. Semua ikan *Cichlids* melakukan asuhan yang unik, di mana telur dierami dan mengasuh larva dengan menggunakan bukaan mulutnya, bahkan ada yang meletakkan telur/larvanya pada substrat.

5. Sistem perkawinan (*Mating systems*)

Sistem perkawinan ini sangat erat hubungannya dengan perilaku seksual, yang menggambarkan keserasian jantan dan betina untuk menghasilkan keturunan. Sistem ini terdiri dari monogami, poligami (poligini, poliandri, dan poliginandri), dan atau sistem perkawinan secara bebas, yang semuanya mengarah pada hasil pilihan pasangan yang tepat. Sistem perkawinan ini dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu aksesibilitas untuk melakukan pemijahan dan *parental desertion* di mana anakan tidak mendapatkan pola asuhan indukan. Kejadian ini dapat kita lihat pada sistem *multiple paternity* pada ikan *Hexagrammos otakii*.

6. Komunikasi dan sinyal (*Communication and signaling*)

Sistem reproduksi ini sangat unik karena memanfaatkan teknik komunikasi yang terkognisi antara jantan dan betina. Jantan memberikan sinyal konfidensial pada betina tentang tanda waktu memijah atau bepergian bersama. Komunikasi ini dapat berupa komunikasi visual yang ditandai dengan adanya tanda khusus pada tubuh jantan atau betina. Ada juga pola komunikasi berupa sinyal suara diantaranya mengerat, menggeram, mendesis dan mendengkur. Selain itu dikenal pula komunikasi taktil yang menggunakan perabaan pada anggota tubuh. Terakhir adalah komunikasi dengan menggunakan bahan cairan, baik itu bahan kimia alami maupun hormonal.

Status Pemanfaatannya

Saat ini ikan dapat dimanfaatkan secara ekstensif dengan variasi produk atau peruntukan yang beragam, baik dalam bentuk hidup, beku, olahan, medis, wisata, hias, maupun *fishing sports*. Pada konteks produksi perikanan, pemanfaatan ikan secara masif dapat digolongkan menjadi dua kelompok besar, yaitu ikan konsumsi dan ikan hias.

Ikan Konsumsi

Produksi ikan dunia pada 2016 (*capture & aquaculture*) mencapai 170,9 juta ton di mana produksi perikanan tangkap lebih tinggi 90,9 juta ton dibandingkan dengan perikanan budidaya (80,0 juta ton). Produksi perikanan tangkap didominasi dari *marine capture*, sedangkan pada ranah budidaya didominasi

budidaya air tawar (FAO, 2018). Dari total produksi 170,9 juta ton tersebut, 151,2 juta ton dikonsumsi oleh manusia dengan total penduduk 7,4 miliar jiwa. Sedangkan hasil produksi yang diperuntukkan untuk non konsumsi sebesar 19,7 juta ton.



Gambar 54. Rata-rata konsumsi ikan penduduk dunia (per kapita/tahun), di mana Indonesia menempati urutan tinggi antara 30-50 kg/tahun (FAO, 2018).

Dalam kurun waktu 2005-2016, Indonesia menduduki peringkat kedua sebagai produsen hasil perikanan tangkap terbesar setelah Tiongkok. Namun, produksi perikanan tangkap dari laut Indonesia mengalami penurunan sebesar 106.994 ton, penurunan produksi tersebut disebabkan oleh beberapa faktor termasuk kebijakan perikanan dan kelautan yang diterapkan di Indonesia termasuk pemberantasan *IUU fishing*.

Dalam empat dekade terakhir konsumsi ikan penduduk dunia naik secara signifikan, dari 9 kg/kapita per tahun pada 1961 meningkat menjadi 20,2 kg per kapita per tahun pada 2015, dengan tingkat rata-rata kenaikan 1,5 persen/tahun. Hal ini mengindikasikan tingginya kesadaran manusia terhadap asupan protein ikani yang multimanfaat dibandingkan dengan protein atau daging merah umumnya dari hewan ternak. Pada poin ini pula, FAO melaporkan bahwa penduduk Asia menduduki peringkat teratas dengan rata-rata asupan 24.0 kg/kapita/tahun.

Dalam kurun waktu 2014-2017, konsumsi ikan Indonesia naik secara signifikan, dimulai 38,14 kg/per kapita/tahun pada 2014 meningkat menjadi 46,49 kg/per kapita/tahun pada 2017. Secara geografis kependudukan, konsumsi sedang (20-31,3 kg/kapita) dapat dijumpai di Pulau Jawa, Nusa Tenggara, dan penduduk yang bermukim di pesisir barat Sumatra.

Stok ikan lestari Indonesia mengalami peningkatan secara signifikan. Pada 2015, stok ikan lestari hanya 9,93 juta ton/tahun kemudian meningkat tajam menjadi 12,54 juta ton pada 2017. Peningkatan stok tersebut sangat erat kaitannya

dengan kebijakan Kementerian Kelautan dan Perikanan dalam memberantas IUU *Fishing*. Kapal yang melanggar aturan IUU *Fishing* dan telah ditenggelamkan sepanjang November 2014 sampai dengan Mei 2019 sejumlah 516 kapal, yang umumnya berasal dari kapal-kapal Vietnam (294 kapal), Filipina (92), Malaysia (76) dan Thailand (23). Pada laporan realisasi program 2017 bidang pengawasan, KKP telah meningkatkan 131 hari operasi pengawasan, menangkap 132 kapal IUU *Fishing*, menenggelamkan 127 kapal ilegal dan telah menangani 197 kasus.

Ikan Hias

Diversitas ikan hias yang diperdagangkan di dunia terdiri atas 1.600 spesies, di mana 50 persen disuplai dari negara Asia. Sementara itu, Indonesia memiliki 846 spesies ikan hias yang terdiri atas 694 spesies air laut dan 152 spesies air tawar. Komoditas ikan hias lautnya telah menguasai 20 persen pasar global yang keluar melalui pintu ekspor Bandara Ngurah Rai, Bali. Ironisnya, 95 persen ikan hias laut yang disuplai berasal dari hasil tangkap alam yang selama ini dilakukan secara destruktif. Sementara itu, meningkatnya impor dan produksi serta transportasi antar pulau ikan non-natif khususnya ikan air tawar tengah memperparah rumitnya pengelolaan ikan hias secara berkelanjutan (Azijah *et al.*, 2017).

Ikan hias umumnya mempunyai bentuk, warna, dan karakter khas sehingga mampu menciptakan suasana akuarium yang mendukung tata ruang serta mampu memberikan suasana tenteram (Wianggawati *et al.*, 2014). Hingga saat ini, diperkirakan 40-46 juta ekor diperdagangkan setiap tahunnya (Ferse *et al.*, 2012) dengan 32 spesies dominan yang diperdagangkan (Chapman *et al.*, 1994). Diversitas ikan hias di dunia (sekitar 1600 spesies), hampir dari separuhnya (sekitar 846 spesies, ikan hias tawar (18 persen); ikan hias laut (82 persen)) ditemukan di perairan Indonesia (Satyani dan Subamia, 2009; Kusri, 2010; Froese dan Pauly, 2016).

Gambar 55.
Ikan Angel Napoleon
(*Pomacanthus
xanthometopon*)
merupakan ikan
hias Indonesia
yang memiliki
nilai jual tertinggi
(*Photo credit: www.
fishbiosystem.ru*).



Indonesia merupakan salah satu dari 188 suplier dunia. Pada 2004, kontribusi ikan hias terhadap PDB mencapai USD 15 juta (Dahrudin, 2011). Negara tujuan ekspor ikan hias Indonesia dikirim ke Singapura, Hongkong, Jepang, Amerika Serikat, dan Malaysia.

Saat ini, Indonesia menguasai sekitar 20 persen pasar ikan hias dunia, di mana umumnya hasil produksinya berasal dari hasil tangkapan alam (95 persen) dan hasil budidaya sebesar 5 persen (Satyani dan Subamia, 2009). Kegiatan hasil tangkapan di alam tersebut dilakukan secara destruktif dan ilegal plus memperdagangkan spesies yang dilindungi (Dykman, 2012). Hal tersebut mengakibatkan deplesi terhadap keanekaragaman dan jumlah ikan hias (Pulungan, 2012). Sebagai langkah preventif, Pemerintah telah mengeluarkan beberapa kebijakan, salah satunya adalah Permendag 50/M-DAG/PER/9/2013 tentang ketentuan ekspor hewan dilindungi undang-undang dan termasuk dalam daftar CITES, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kepunahan suatu spesies.

Berdasarkan kajian Azijah *et al.*, (2017) menunjukkan bahwa keanekaragaman ikan hias yang diperdagangkan di Indonesia sejumlah 717 spesies (462 spesies air laut: 51 famili dan 255 spesies air tawar: 48 famili). Ikan hias yang diperdagangkan secara nasional (jual antar pulau) didominasi oleh jenis ikan air tawar, ikan asing-invasif (65 persen: 164 spesies) dibandingkan dengan spesies natif (35 persen: 91 spesies).

Sedangkan status IUCN Redlist ikan yang diperdagangkan lebih dominan Least Concern (Laut: 267 spesies, Tawar: 60 spesies) dan Not Evaluated (Laut: 175 spesies, Tawar: 41 spesies). Meskipun demikian, ada 16 spesies yang terancam punah, 1 spesies (CR), 6 spesies (EN) dan 9 spesies (VU), perdagangan endangered species banyak ditemukan di Sumatra (ikan tawar) dan Bali (ikan laut). Spesies terancam tersebut, Arowana (*Scleropages legendrei*), Patin (*Pangasianodon hypophthalmus*) serta Capungan Banggai (*Pterapogon kauderni*).

Lalu lintas domestik sepanjang 2012-2016, suplai ikan hias dari Jawa Timur menginvasi hampir seluruh wilayah di Indonesia. Saat ini, Indonesia menempati ranking 4 suplier dunia, setelah Singapura, Malaysia, dan Republik Ceko. Rata-rata nilai ekspor Indonesia sepanjang 2007-2016 mencapai US\$ 17.880.620 per tahun. Tujuan utama ekspor komoditi ini dominan ke Jepang (24 persen), Singapura (20 persen) dan Amerika Serikat (12 persen). Namun pun demikian, permasalahan utama yang ditemui yaitu kurangnya minat konsumen (15 persen), mortalitas tinggi (14 persen) dan ketidakpastian suplai (13 persen).

Lebih lanjut Azijah *et al.*, (2017) melaporkan bahwa jumlah pelaku ikan hias dipengaruhi oleh jumlah penduduk (korelasi kuat, $r = 0,9894$). Sedangkan preferensi konsumen ikan hias lebih didominasi oleh faktor warna ikan (61 persen) dibandingkan dengan bentuk ikannya. Selain itu,

Gambar 55. Platform repositori ikan hias Indonesia dan bursa komersialnya (basis website dan Google-Android Application). Didesain khusus untuk mendokumentasikan spesies biota akuatik ornamen dan mewadahi para pembudidaya, pedagang dan penikmat ikan hias di tanah air.



karakteristik konsumen yang paling berpengaruh adalah faktor umur (khususnya di wilayah Barat Indonesia: t-test: -0,2129 dan wilayah Indonesia Timur: t-test: 4,6920). Sedangkan karakteristik konsumen di Indonesia bagian tengah dipengaruhi faktor jenis pekerjaan (t-test: 1,5618). Konsumen Indonesia dipengaruhi oleh gender pria dari kalangan PNS dan Swasta, rentang usia 22-55 tahun.

Spesies yang memiliki nilai jual tinggi antara lain, ikan hias tawar: Arowana Super Red (*Scleropages legendrei*) Rp 15.000.000/ekor, Arowana Papua (*Scleropages jardini*) Rp 10.000.000, dan ikan hias laut: Renopos (*Rhinopias eschmeyeri*) Rp.350.000, Angel Napoleon (*Pomacanthus xanthometopon*) Rp 300.000, Kepe monyong asli (*Forcipiger longirostris*) Rp250.000 (Azijah *et al.*, 2017)

Pengelolaan sumber daya ikan hias harus dilaksanakan dengan prinsip kehati-hatian yang melibatkan sinergitas seluruh elemen pemangku kepentingan. Pemerintah sebagai penghasil produk kebijakan sebaiknya mengakomodasi aturan adat (plus *indigenous knowledge*). Pengelolaan berdasarkan hukum adat yang terjadi di Sumatra (Panglima Laot & lubuk larangan) dan Bali (Awig-Awig) yang mengatur konservasi sumber daya atau perlindungan habitat. Selain itu, pelaksanaan Cara Budidaya yang Baik (CBIB), Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB), serta Cara Karantina Ikan yang Baik (CKIB) perlu terus digalakkan menuju standardisasi dan keberlanjutan kultivasi.

Saat ini, Kementerian Kelautan dan Perikanan telah membuat aplikasi Aquarium Indonesia yang didesain khusus untuk dua tujuan utama mendokumentasikan semua spesies biota akuatik ornamen dan tanaman hias

Indonesia dalam bentuk repositori spesies dan mewadahi para pembudidaya, pedagang, eksportir dan konsumen aquaria di tanah air dalam bentuk bursa komersial *online*.

Repositori spesies memuat potensi sumber daya biota akuatik ornamen, baik yang telah diperdagangkan secara luas maupun yang berpotensi sebagai biotop hias. Biotop dibagi ke dalam grup taksa ikan, krustasea, tortoise, karang-kerang, tanaman air dan biota/produk akuarium lainnya. Selain itu, citra data repositori menampilkan sebaran dan sifat biota (e.g endemik, *native*, dan spesies asing), habitat, status perdagangan dan konservasinya.

Secara spesifik, aplikasi ini mewadahi semua pihak untuk memberikan kontribusi pengkayaan data spesies dengan proses penginputan yang mudah dan cepat. Bursa komersial produk akuarium memuat fitur jual beli untuk semua jenis biota dan produk esensial bisnis akuarium. Laman ini mewadahi semua pelaku bisnis akuarium (e.g pembudidaya, pedagang ritel, dan eksportir). Penjual dan pembeli dapat melakukan interaksi (i.e negosiasi jual-beli) satu sama lain lewat wadah *chatting box*, telepon, dan aplikasi pesan singkat *Whatsapp*.

Status Occurrence Spesies

Seiring dengan berkembangnya zaman, sisi buruk akibat aktivitas manusia mulai bermunculan. Yaitu era di mana manusia lebih mementingkan kehidupannya tanpa mempertimbangkan keadaan alam dan makhluk hidup lainnya berakhir, bahkan menimbulkan ancaman terhadap diversitas yang ada. Introduksi spesies asing merupakan salah satu contoh dari tindakan manusia yang menjadi ancaman terbesar bagi kelangsungan biodiversitas Indonesia. Selain dapat mendatangkan keuntungan, kegiatan introduksi spesies asing juga dapat membahayakan spesies asli karena spesies asing dapat menjadi invasif di habitat baru yang ditempatinya. Spesies asing dapat menjadi invasif apabila: 1) tidak ada predator bagi spesies eksotik tersebut, 2) tidak ada penyakit dan parasit, 3) kemampuan adaptasi yang tinggi, dan 4) sifat agresif spesies eksotik yang mampu merebut habitat spesies asli. Selain mengancam keanekaragaman hayati, spesies asing invasif juga membebani biaya negara untuk kelangsungan bidang ekologi, sektor ekonomi, dan kesehatan manusia.

❖ Spesies Endemik

Spesies endemik adalah biota atau spesies yang hanya ditemukan pada lokasi habitat yang terbatas, contohnya di sungai, drainase danau, rawa, teluk, atau perairan tertentu lainnya. Spesies endemik memiliki sebaran yang sangat terbatas (*confined*) pada area atau kawasan tertentu. Froese and Pauly (2019) melaporkan bahwa spesies ikan yang bersifat endemik di Indonesia sebesar 133 spesies. Jumlah spesies endemik ini sangat dinamis, karena jumlah tersebut akan berubah setiap tahun di mana ada penemuan

jenis baru. Salah satu spesies endemik ikan air tawar Indonesia adalah Capungan Banggai atau disebut pula *Banggai cardinalfish* (*Pterapogon kauderni*) yang hanya ditemukan di kepulauan Banggai, Sulawesi Tengah.

❖ Spesies Asli

Setiap organisme secara alamiah telah memiliki daerah jangkauan distribusi geografisnya masing-masing yang biasa dikenal dengan istilah indigenous species (Prabowo, 2010). Spesies asli atau *native species* diartikan sebagai suatu spesies yang berada dalam kisaran tempat hidupnya yang ditempati secara alami dan tidak bergantung pada aktivitas manusia (Lymbery *et al.*, 2014). Spesies asli memiliki sebaran di Indonesia, baik pada kawasan barat (Sundaland), tengah Indonesia (Wallacea) atau di bagian Timur jauh (Sahul). Beberapa spesies asli hanya memiliki sebaran tertentu pada suatu pulau tertentu, contohnya anggota genus *Dermogenys*, yang mendiami daratan bagian barat Indonesia.

❖ Spesies Asing

Spesies asing merupakan spesies baru/pendatang dari wilayah atau ekosistem lain. Spesies asing atau alien (*exotic, non-indigenous*) merupakan spesies yang terangkut oleh adanya aktivitas manusia ke suatu daerah di luar jangkauan alaminya (Lymbery *et al.*, 2014). Ikan asing atau yang biasa dikenal dengan introduksi merupakan suatu jenis ikan yang bukan berasal dari habitat asli atau daerah sebaran zoogeografisnya atau juga bisa disebut sebagai ikan yang tempat hidup alaminya bukan berasal dari Indonesia (Dewantoro & Rachmatika, 2016). Beberapa contoh ikan asing yang sudah ada di Indonesia adalah Arapaima, Pirarucu, atau Paiche (*Arapaima gigas*) yang berasal dari perairan tropis Amerika Selatan. Kini, spesies tersebut dapat ditemukan di beberapa kolam protektif di tanah air, namun sayangnya ikan raksasa air tawar ini sudah lepas ke dalam beberapa perairan umum di pulau Jawa dan Kalimantan.

❖ Spesies Invasif

Spesies ikan introduksi dapat menyebabkan dampak negatif apabila sifatnya di perairan menjadi invasif (Verbrugge *et al.*, 2012). Spesies invasif adalah organisme asli (*native*) ataupun asing (*nonnative*) yang telah diintroduksi ke suatu daerah, dan mampu beradaptasi dan kemudian berkembang lalu menyebar di luar titik awal introduksinya. Spesies invasif biasanya menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, ekonomi atau kesehatan manusia (Kolar & Lodge, 2001).

Spesies invasif dapat berupa seluruh kelompok taksonomi meliputi virus, alga, lumut, paku-pakuan, tumbuhan tinggi, invertebrata, ikan, amfibi, reptil, burung, dan mamalia (Hossain *et al.*, 2009). Pertumbuhan populasi manusia, peningkatan kapasitas transportasi dan globalisasi ekonomi telah mempercepat laju introduksi spesies invasif di seluruh

dunia (Vitousek *et al.*, 1997). Spesies invasif dapat mempengaruhi spesies asli secara langsung, melalui persaingan atau pemangsaan, atau secara tidak langsung, yaitu dengan mengubah habitat atau menyebarkan penyakit. Spesies invasif sekarang diakui sebagai penyebab utama hilangnya keanekaragaman hayati dan perubahan dalam fungsi ekosistem, yang mengarah ke dominasi suatu spesies di suatu ekosistem sehingga spesies asli akan digantikan oleh spesies invasif (baik asli maupun asing) (LyMBERY *et al.*, 2014).

Suatu biota memiliki potensi sebagai spesies asing invasif jika memiliki sifat-sifat sebagai berikut (BKIPM, 2014):

- › Kompetitor
- › Predator
- › Kemampuan reproduksi cepat
- › Kemampuan adaptasi yang tinggi
- › Dapat membawa penyakit berbahaya
- › Pemakan segala
- › Pertumbuhan cepat
- › Berdampak negatif pada manusia

Faktor-faktor yang menjadi penyebab keberadaan spesies asing invasif yaitu:

- › Introduksi Spesies Asing
- › Industri ikan hias
- › Budidaya perikanan
- › Bawaan Air Buangan Kapal (*Ballast water*)
- › Bahan Pencemar (*Biofouling*)
- › Parasit yang terbawa inang
- › Kegiatan penelitian dengan objek biota dari luar

Aplikasi Android AIS Indonesia merupakan aplikasi pertama yang menghimpun spesies asing dan invasif. Aplikasi ini dapat diakses oleh semua pihak yang berkepentingan dan menjadi salah satu semangat dalam upaya kampanye eradikasi dan pengelolaan spesies asing invasif agar dapat dikontrol dan dimonitor. Ketersediaan data secara komprehensif dan dapat diakses secara *online* menjadi salah satu solusi penanganan AIS di Indonesia. Saat ini, berdasarkan citra data AIS Indonesia, ikan yang asing di Indonesia tercatat sejumlah 131 spesies/*strain*, berpotensi invasif sejumlah 76 spesies dan yang telah bersifat invasif sejumlah 78 spesies. Spesies asing dan invasif yang terdeteksi untuk peruntukan budidaya sejumlah 56 spesies, ikan hias (201 spesies) dan peruntukan lainnya (penelitian dan *fishing sport*) sejumlah 45 spesies.

Gambar 56. Platform repositori AIS Indonesia (basis website dan Google-Android *Application*), yang didesain untuk mendokumentasikan spesies asing dan invasif di seluruh perairan Indonesia.



2.1.10 Mamalia laut

Mamalia laut terbagi menjadi 3 kelompok ordo yaitu kelompok paus dan lumba-lumba dari ordo Cetacea, kelompok sapi laut dan dugong masuk dalam ordo Sirenia, serta kelompok walrus, gajah laut, singa laut, dan anjing laut dari ordo Carnivora, subordo Pinnipedia.

2.1.10.1 Cetacea

Sampai dengan 2018, terdapat sekitar 90 spesies dalam ordo Cetacea yang terdiri dari paus, lumba-lumba, dan beluga, dengan 44 spesies di antaranya adalah lumba-lumba di mana lima spesies hidup di air tawar, yaitu lumba-lumba air tawar.

Ordo Cetacea memiliki adaptasi morfologi dan anatomi untuk beraktivitas di dalam air sebagai hewan migratori. Tungkai depannya berevolusi membentuk sirip berbentuk pedal sedangkan tungkai belakang menghilang yang mendukung adaptasi bentuk tubuh yang ramping dan tanpa bulu untuk mengurangi gesekan dengan air. Dengan demikian paus berukuran besar dapat bermigrasi dengan kecepatan sekitar 10 mil per jam, bahkan di atas 20 mil per jam untuk jenis paus *baleen* tertentu. Cetacea memiliki distribusi luas mencakup tropis hingga kutub.

Paus merupakan mamalia terbesar di dunia (Gambar 57). Jenis paus biru (*Balaenoptera musculus*) dapat mencapai panjang lebih dari 30 m dan berat 200 ton. Paus terbagi ke dalam dua subordo, yaitu subordo Odontoceti yang memiliki gigi dan subordo Mysticeti yang memiliki *baleen*.



Subordo Odontoceti adalah kelompok paus karnivora, lumba-lumba, dan beluga (*porpoise*) yang mengkonsumsi singa laut, anjing laut, berang-berang laut, gerombolan ikan, atau gerombolan cumi-cumi.

Terdapat tujuh spesies paus dari dua suku yang dilindungi. Tiga spesies yang dilindungi dari suku Physeteridae yaitu dua jenis paus lodan kecil (*Kogia breviceps* dan *K. sima*) dan satu jenis paus sperma (*Physeter macrocephalus*, berukuran 15-20 meter) sedangkan dari suku Ziphiidae adalah paus hidung botol (*Indopacetus pacificus*), paus paruh blainville (*Mesoplodon densirostris*), paus paruh bergigi *ginkgo* (*M. ginkgodens*), dan paus paruh angsa (*Ziphius cavirostris*).

Paus Mysticeti dikenal sebagai paus *baleen*, merupakan paus planktivora yang mengkonsumsi zooplankton berupa krustasea berukuran besar dan larva ikan atau ikan kecil. Paus *baleen* memiliki lapisan *baleen* pada insang yang membantu menyaring plankton dari air laut. Paus jenis ini memakan plankton dalam jumlah besar setiap harinya untuk memenuhi kebutuhan nutrisi dari tubuhnya yang besar.

Subordo Mysticeti memiliki 13 spesies yang terbagi ke dalam empat kelompok yaitu Balaenidae, Balaenopteridae, Cetotheriidae, dan Eschrichtiidae. Berdasarkan cara makannya, mereka terbagi ke dalam kelompok *right whales* dan *rorqual whales*. Kelompok pertama membuka mulutnya sambil berenang dan langsung memfilter plankton yang masuk melewati *baleen*, misalnya paus *bowhead*. Kelompok lainnya sesekali membuka mulut sangat lebar pada saat berenang untuk mendapatkan massa

Gambar 57. Macam-macam mamalia laut yang hidup di Indonesia beserta perbandingan ukurannya (Ilustrasi: Suganda Sukmana)

air yang banyak di dalam mulutnya. Pada saat mulut menutup, air akan ditekan melewati *baleen* untuk menyaring plankton. Contohnya adalah paus biru, paus sirip (*finback whale*, *Balaenoptera physalis*), paus *northern minke* atau paus tombak (*B. Acutorostrata*), paus minke Antartika (*B. bonarensis*), dan paus *humpback* (*Megaptera novaeangliae*). Sejak 2018, terdapat 7 spesies paus *baleen* yang dilindungi di Indonesia, semuanya termasuk ke dalam kelompok Balaenopteridae, yaitu paus tombak, paus minke Antartika, paus sei (*B. borealis*), paus edeni (*B. edeni*), paus biru, paus omura (*B. omurai*), dan paus bongkok (*Megaptera novaeangliae*).

Lumba-lumba dan beluga juga masuk ke dalam subordo Odontoceti bersama-sama paus bergigi. Sebagai karnivora, mereka umumnya makan ikan. Saat ini diketahui setidaknya terdapat 16 spesies lumba-lumba dari suku Delphinidae: 10 spesies yang dikenal sebagai lumba-lumba, satu spesies pesut atau lumba-lumba air tawar, dan tiga spesies paus pembunuh (termasuk Orca) serta dua spesies paus lainnya yang sebenarnya masuk ke dalam kelompok lumba-lumba, ditambah satu spesies lumba-lumba hitam tak bersirip (*Neophocaena phocaenoides*) dari suku Phocoenidae. Ke-17 spesies lumba-lumba ini dilindungi.

Sebagaimana mamalia darat, mamalia laut juga termasuk hewan *homeoterm* atau berdarah panas, artinya mampu mempertahankan suhu badan yang hangat di lingkungan yang dingin. Mekanisme mamalia laut mempertahankan suhu tubuh diantaranya *heat core* pada paus dan *countercurrent exchange system* pada paus dan lumba-lumba.

Subordo Odontoceti yang merupakan karnivora harus berburu untuk mendapatkan makanan. Terkadang, paus berburu hingga laut dalam sehingga mereka memiliki kemampuan beradaptasi dengan laut dalam yang bertekanan tinggi dan bersuhu dingin. Paus sperma dapat mengejar gerombolan cumi-cumi hingga ke kedalaman 1000 m bahkan lebih dari 2000 m.

Sebagai mamalia yang bernafas dengan paru-paru, mereka wajib menghirup udara dari atmosfer, sehingga secara periodik perlu berada di permukaan air. Lubang pernafasan untuk menghirup oksigen dan membuang karbondioksida disebut lubang sembur (*blowhole*) karena paus akan menyemburkan buangan karbondioksida ke udara melalui lubang ini. Subordo Odontoceti memiliki satu lubang sembur, sedangkan subordo Mysticeti memiliki dua lubang sembur.

Pada umumnya, subordo Odontoceti hidup dalam kelompok kecil (*pod*) berukuran 5 - 10 individu. Sebagai hewan sosial, mereka memiliki kemampuan unik dalam berkomunikasi, yaitu melalui kode getaran bawah air yang dikenal sebagai ekolokasi (*echolocation*). Selain untuk berkomunikasi, kemampuan ini juga membantu dalam navigasi atau mencari arah dan dalam berburu makanan. Paus memiliki kemampuan hidup di laut lintang tinggi dengan sebagian jenis paus mampu hidup di kutub maupun menyelam ke laut dalam yang dingin.

2.1.10.2 Sirenia

Sapi laut atau *manatee* dan dugong dari ordo Sirenia juga mengalami evolusi morfologi dan anatomi mirip dengan ordo Cetacea. Namun, karena umumnya kelompok ini berdiam di suatu tempat dan bukan hewan migratori, bentuk tubuhnya tidak seramping ordo Cetacea (Gambar 58). Kelompok ini adalah herbivora yang umumnya memakan tumbuhan air dan lamun di padang lamun. Keberadaan dugong dan *manatee* sebagai *grazer* tanaman lamun sangat penting dalam mempertahankan kesehatan ekosistem ini. Konsumsi daun lamun secara rutin, membuat tanaman lamun meremajakan daunnya dan terhindar dari penyakit yang menjangkit daun lamun yang tua.



Walaupun sebagian hewan Sirenia dapat hidup di tropis, seperti mamalia laut pada umumnya mereka juga memiliki *blubber* sehingga menjadi target buruan selain dimanfaatkan daging dan kulitnya. Secara kekerabatan, mereka lebih mirip gajah di mana ukuran *manatee* dapat mencapai 4,5 m sedangkan dugong 3 m. Sebagai hewan besar, siklus reproduksinya juga lambat, melahirkan satu anak dalam 3 tahun. Di dunia ini terdapat tiga species *manatee* (*Trichechus*) dan satu spesies dugong (*Dugong dugon*). Di perairan Indonesia, hanya hidup dugong yang merupakan satwa laut yang dilindungi, yang lebih dikenal sebagai duyung. Secara internasional, dugong masuk dalam kategori CITES Apendiks I, artinya tidak dapat diperdagangkan dengan alasan apapun.

Gambar 58. Dugong adalah hewan yang dilindungi. Seringkali tertangkap nelayan secara tidak sengaja. (Photo credit: Jurgen Freund / WWF-Canon)

2.1.10.3 Pinnipedia

Anjing laut, singa laut, gajah laut, dan walrus termasuk ke dalam ordo Carnivora, subordo Pinnipedia. Mereka hidup di air dingin sehingga hanya ditemukan di daerah dengan lintang tinggi hingga kutub. Untuk bertahan hidup di habitat bersuhu rendah, tubuhnya memiliki lapisan lemak tebal (*blubber*) di bawah kulit, sebagaimana paus. Selain sebagai pelapis insulasi, *blubber* juga menjadi cadangan makanan dan penyeimbang daya apung saat berenang. Kendatipun morfologi dan anatomi tubuhnya beradaptasi untuk berenang di air, hewan pinniped kawin, melahirkan, dan membesarkan anakan di darat.

Sekilas singa laut mirip dengan anjing laut, namun sebenarnya mereka memiliki banyak perbedaan. Di antaranya singa laut memiliki daun telinga kecil, tungkai belakangnya dapat digerakkan untuk membantu bergerak di darat, tungkai depannya dapat dilipat, dan lehernya lebih panjang.

Sama-sama berbadan besar, walrus memiliki karakteristik morfologi yang berbeda dengan gajah laut. Walrus memiliki 2 buah taring yang sangat besar, baik jantan maupun betina. Secara karakteristik morfologi, gajah laut lebih menyerupai anjing laut daripada singa laut. Gajah laut mampu menyelam hingga kedalaman ribuan km untuk mencari makan.

Berang-berang laut (*sea otter*, ordo Carnivora, famili Mustelidae) merupakan kelompok mamalia laut kecil (25-35 kg). Walaupun sama-sama hidup di perairan dingin, hewan ini tidak memiliki *blubber*. Untuk mekanisme insulasi, mereka memiliki ruang udara di bawah bulu yang tebal. Kendatipun bertubuh kecil, hewan ini mengkonsumsi berbagai jenis makanan, seperti bulu babi, abalon, tiram, kerang, kepiting, bahkan ikan sebanyak 25 - 30 persen dari berat badan. Umumnya hidup di sekitar hutan kelp (makroalga) di perairan bermusim empat dan menjadi biota kunci dalam mempertahankan kesehatan ekosistem kelp. Mereka mengkonsumsi bulu babi yang merupakan pemakan makroalga kelp sehingga mencegah meledaknya populasi bulu babi.

Dari kelompok belang-berang laut, jenis kucing laut (*Lontra felina*) merupakan mamalia laut terkecil dengan bobot hanya sekitar 6 kg dan hanya hidup di pantai Pasifik dari Amerika Selatan. Sementara kelompok belang-berang laut pada umumnya menghabiskan banyak waktu di air, kucing laut lebih banyak berada di pantai berbatu (Castro & Huber, 2010).

Walaupun tidak beradaptasi untuk hidup di air sebagaimana mamalia laut yang sudah dibahas di atas, beruang kutub (*Ursus maritimus*) juga termasuk mamalia laut dari ordo Carnivora, subordo Fissipedia. Mereka hidup di atas bongkahan es di Kutub Utara (Arctic) dan mampu berenang dari bongkahan es satu ke bongkahan es lainnya. Makanan utamanya adalah anjing laut.

Siklus Hidup.

Paus, lumba-lumba, dan dugong menghabiskan seluruh siklus hidupnya di dalam air. Sementara gajah laut, singa laut, anjing laut, dan berang-berang laut melewati sebagian siklus hidupnya di darat tidak jauh dari laut. Sebagaimana mamalia darat, mamalia laut mengandung bayi di dalam plasenta dan melahirkan pada saatnya. Masa mengandung paus mulai dari beberapa bulan, 1 tahun (paus biru), hingga 16-17 bulan (paus pembunuh). Karena ukurannya yang besar, pada saat lahir bayi paus sudah berukuran besar; misalnya bayi paus biru berukuran 12 m. Bayi paus menyusu pada induknya selama sekitar 2 tahun. Mamalia laut yang menghabiskan seluruh hidupnya di laut melahirkan anak di dalam air, sedangkan yang melewati siklus hidupnya di darat dan laut umumnya melahirkan di darat.

Secara khusus, paus Orca, lumba-lumba hidung botol, anjing laut, dan singa laut masih merupakan objek atraksi untuk pariwisata di mana mereka hidup di kolam kecil dan dilatih berbagai keterampilan. Sebagian ilmuwan, memanfaatkan kemampuan ekolokasi (*echolocation*) dan bersosialisasi lumba-lumba hidung botol untuk membantu dalam terapi penyembuhan pasien anak-anak autis.

Ancaman

Ancaman utama dari mamalia laut adalah perburuan dan pembantaian. Beruntunglah di Indonesia tidak terdapat budaya membantai mamalia laut secara massal sebagaimana terjadi di daerah Taiji, Jepang, dan the Faroe Islands, Denmark. Selain itu, di Norwegia dan Slovenia masih terjadi perburuan paus dan lumba-lumba untuk tujuan komersial. Namun demikian, Indonesia memiliki desa Lamakera & Lamalera di Nusa Tenggara Timur dengan tradisi berburu paus yang unik sehingga menarik banyak turis untuk mengunjunginya (Gambar 59). Tradisi berburu paus di kedua desa ini tidak bersifat massal dan komersial, hanya menggunakan perahu dan alat tangkap tradisional pada waktu dan luasan perairan terbatas. Penduduk Lamalera hanya berburu paus bergigi sedangkan penduduk Lamakera khusus berburu paus *baleen*.



Gambar 59. Tradisi berburu paus penduduk desa Lamalera, Nusa Tenggara Timur. (Photo credit: sinarharapan.net)

Gambar 60.
Seekor paus
terperangkap jaring
yang melayang bebas
di lautan (*ghost net*).
(Photo credit: World
Cetacean Alliance)



Limbah plastik, karet, tali, dan jaring merupakan ancaman lingkungan utama selain ancaman perburuan. Secara khusus, jaring untuk menangkap ikan yang secara sengaja maupun tidak sengaja terlepas di laut, biasa disebut *ghost net*, sangatlah merugikan, karena secara terus-menerus akan menjerat berbagai biota laut yang dilaluinya (Gambar 60).

2.1.11 Reptil Laut

Reptil laut adalah kelompok hewan yang telah mengalami adaptasi sekunder dan hidup pada lingkungan laut. Kelas Reptilia telah dikelompokkan dan termasuk di dalamnya adalah penyu, biawak, ular, buaya, dan tuatara. Sejumlah besar reptil pernah hidup secara fantastis pada era Mesozoik (masa berkembangnya Reptil) diantaranya adalah dinosaurus pada zaman Jurasik (*Jurassic*) bahkan mungkin sebelumnya. Reptil laut paling awal muncul diperkirakan pada periode Permian dalam era Paleozoikum, dan menjadi kelompok hewan yang paling berbahaya.

Semua reptil memiliki kulit yang tertutup oleh sisik. Sisik berfungsi ganda yaitu untuk melindungi organ dalam tubuh dan untuk mengurangi kehilangan air. Sisik adalah epidermal (berlawanan dengan dermal pada ikan) yang mengandung protein (keratin) dan lemak berfungsi sebagai suatu pelindung antara lingkungan dan organisme. Semua reptil menghirup udara melalui paru-paru, sama halnya seperti manusia. Semua reptil "berdarah dingin" (diistilahkan ilmiah = "*ectothermic*"), yang berarti bahwa suhu tubuh bervariasi sesuai dengan suhu lingkungan di mana lingkungan adalah sumber utama panas tubuh. Semua reptil membuahi telurnya secara internal melalui perkawinan antara induk jantan dan betina. Kulit telur memiliki beberapa lapisan (*layer*) dan yang utama adalah (1) lapisan mineral kalsium karbonat (CaCO_3) yang membentuk lapisan luar dan (2) lapisan fiber yang tersusun atas protein dan membentuk bagian dalam telur (Wibbels, 2014).

2.1.11.1 Penyu Laut

Penyu adalah salah satu kelompok hewan dalam kelas reptil yang paling dikenal di bumi dan hidup di laut (disebut penyu laut atau Teteruga) dan air tawar (disebut penyu air tawar atau kura-kura atau labi-labi). Selain di laut dan air tawar, juga terdapat jenis yang hidup di darat, yang disebut kura-kura darat atau *tortoise*. Dengan perawakan yang unik dan berukuran relatif besar, penyu laut menyerupai jenis hewan yang menjadi kerabat reptil yang telah menempati planet bumi sejak zaman purbakala. Anatomi penyu tidak

berubah namun ukurannya berubah menjadi lebih kecil dan diperkirakan muncul sekitar 100 juta tahun yang lalu pada periode Kretasea dalam era Mesozoikum. Tujuh jenis penyu yang hidup hingga saat ini menjelajahi semua palung samudra baik Pasifik, Hindia, dan Atlantik. Ketujuh jenis satwa purba ini telah memperkenalkan kepada dunia dan publik di Indonesia terkait komponen biologi yang menakjubkan sebagai salah satu hewan penghuni samudra yang memiliki perilaku dan kemampuan adaptasi yang luar biasa hebatnya.

Seperti makhluk hidup lainnya, penyu laut diklasifikasikan dalam hirarki menurut karakteristik umum yang menunjukkan sejarah evolusi (disebut *filogeni*), yaitu:

Kingdom: Animalia (Kerajaan Hewan)	
	Filum: Chordata (Kelompok hewan yang memiliki 'notochord' untuk mendukung sumbu tubuh)
	Kelas: Reptilia (Kelompok hewan yang bersisik dengan struktur tengkorak yang unik. Umumnya meletakkan telur)
	Ordo: Testudina (Kelompok hewan yang memiliki karapas/tempurung (shell), di dukung tulang rusuk dan spinal yang menyatu. Hewan ini tidak memiliki gigi)
	Sub Ordo: Criptodira (Penyu dengan leher yang 'tersembunyi' yang membentuk huruf S ketika leher di tarik)
	Super Famili: Chelonioidea (Kelompok penyu laut dengan jari yang telah ber senyawa dalam sirip yang berbentuk seperti sayap)
	Famili: Cheloniidae (Penyu Laut berkarapas keras: Penyu Lekang, Penyu Tempayan, Penyu Sisik, Penyu Pipih dan Penyu Hijau)
	Famili: Dermochelyidae (Penyu Laut berkarapas lunak: Penyu Belimbing)

Setidaknya terdapat empat famili penyu laut yaitu: *Toxochelyidae*, *Protostegidae*, *Cheloniidae*, dan *Dermochelyidae* (Pritchard, 1997). Hanya dua famili terakhir yang masih bisa dijumpai hingga saat ini (Whiterington and Whiterington 2015). Diperkirakan terdapat sekitar 40 jenis dalam Famili Cheloniidae dan yang tersisa kini hanya enam spesies, yaitu penyu hijau (*Chelonia mydas*), sisik (*Eretmochelys imbricata*), tempayan (*Caretta caretta*), pipih (*Natator depressus*), leang (*Lepidochelys olivacea*), dan penyu Kempfi (*Lepidochelys kempfi*). Selain itu diperkirakan terdapat setidaknya enam jenis penyu dalam Famili Dermochelyidae, dan kini yang tersisa hanya satu jenis yaitu penyu belimbing (*Dermochelys coriacea*). Dari tujuh jenis penyu laut yang saat ini masih hidup dan menyebar di laut, enam diantaranya hidup di Indonesia, yaitu Penyu Belimbing, Penyu Hijau, Penyu Tempayan, Penyu Pipih, Penyu Sisik, dan Penyu Lekang.

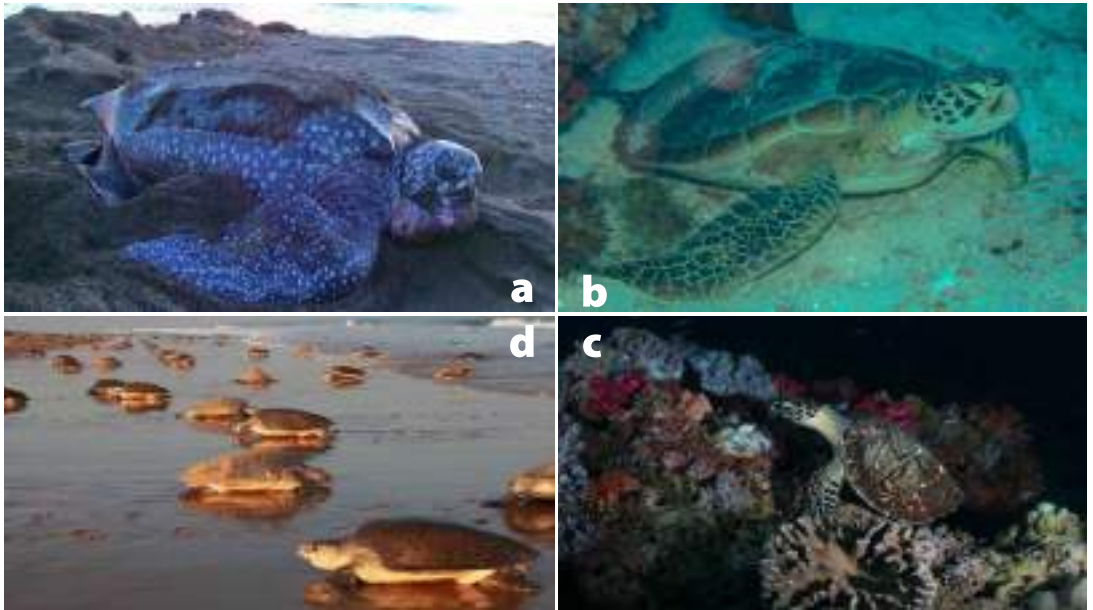
PENYU BELIMBING (*Dermochelys coriacea*). Para ilmuwan memberi nama "*Dermochelys coriacea*" mengacu pada kulit tanpa sisik pada penyu belimbing dewasa (Gambar 61a). Penyu belimbing dewasa berenang 0,6 m sampai 0,8 m per detik, atau sekitar 45-65 km per hari. Menyelam penting bagi penyu belimbing untuk mendapatkan pakan dan menghindari predator. Penyu belimbing betina dewasa dapat menyelam hingga kedalaman lebih dari 1.000 m. Penyu belimbing bisa bertahan menyelam dan berada di dalam air selama satu jam atau lebih - tetapi waktu rata-rata biasanya antara 5 sampai 15 menit.

Penyu belimbing memangsa ubur-ubur dan hewan laut lain yang bertubuh lunak seperti *ctenophora* (ubur-ubur jengger) dan tunikata. Penyu ini menghabiskan sebagian besar waktu di perairan belahan utara di mana terdapat ubur-ubur berukuran besar; beberapa memiliki panjang tentakel lebih dari 65 m. Penyu belimbing tidak memiliki gigi tetapi takik di bagian rahang atas di mulut memberi tampilan seperti "taring". Takik ini tajam dan memudahkan mengunyah ubur-ubur. Garis duri lunak di bagian dalam mulut, ke tenggorokan dan lebih jauh lagi ke dalam sistem pencernaan membantu mengarahkan ubur-ubur ke dalam lambung.

Dalam banyak hal penyu belimbing mirip dengan jenis penyu laut lainnya - misalnya, perenang yang terampil, lambat mencapai usia dewasa, dan hidup selama beberapa dekade. Penyu laut melakukan perjalanan jauh antara daerah pakan dan daerah peneluran, bertelur di pantai, menghirup udara, dan lain-lain. Akan tetapi yang berbeda, penyu belimbing "lihai" dalam beberapa aspek seperti: penyu belimbing lebih besar (dan ukuran telur lebih besar), berenang lebih cepat, menyelam lebih dalam, bermigrasi lebih jauh, dan mentolerir suhu lebih dingin.

PENYU HIJAU (*Chelonia mydas*). Nama penyu hijau berasal dari Bahasa Yunani, *chelone* (yang berarti penyu) dan *mydos* (yang berarti basah). Sekalipun namanya hijau namun umumnya penyu ini berwarna coklat. Nama 'hijau' diturunkan dari jaringan lemak yang berwarna hijau. Kebanyakan penyu hijau dewasa memiliki panjang karapas antara 90-110 cm dengan berat antara 120-220 kg di mana ukuran jantan lebih kecil dibandingkan betina. Penyu hijau menyebar di seluruh dunia di wilayah tropis hingga *temperate* dan merupakan jenis penyu paling umum yang ditemukan di Indonesia (Gambar 61b).

Penyu hijau pada umumnya bersifat herbivora fakultatif, artinya pemakan tumbuhan. Pada usia remaja (juvenil), penyu hijau memakan rumput laut dan alga. Penyu hijau muda umumnya memakan materi dari hewan dan akan merubah preferensi makan sesuai dengan perubahan habitat dasar perairan saat berpindah dari laut terbuka ke perairan pantai yang kaya ditumbuhi rumput laut dan alga. Dengan demikian mirip dengan hewan darat yang memakan tumbuhan, penyu hijau tidak mampu memecah selulosa dari



materi tumbuhan yang dimakan tanpa bantuan simbiosis organisme yang hidup dalam tubuh mereka.

PENYU TEMPAYAN (*Caretta caretta*). Nama penyu tempayan berasal dari bahasa latin yang dimodifikasi dari bahasa Perancis, *caret* yang berarti penyu. Kebanyakan penyu tempayan dewasa memiliki panjang karapas antara 80-110 cm dengan berat antara 70-170 kg. Berat tubuh umumnya bervariasi sesuai kondisi tubuh. Jantan dewasa biasanya lebih ringan dibandingkan betina. Penyu tempayan dewasa umumnya memakan invertebrata baik yang bertubuh lunak (*sponge* dan *jelly* atau papeda laut) maupun bertubuh keras.

PENYU SISIK (*Eretmochelys imbricata*). Nama penyu sisik berasal dari bahasa latin yang berarti sisik karapas yang tumpang tindih seperti atap seng rumah. Pada umumnya, penyu sisik (Gambar 61c) betina dewasa memiliki panjang karapas (lurus) antara 75-90 cm dengan berat tubuh antara 45-70 kg. Jenis penyu ini ditemukan di kawasan laut yang beriklim tropis dan subtropis. Pantai peneluran biasanya terdapat secara eksklusif di pantai yang memiliki gugusan pulau-pulau yang memiliki terumbu karang dan memakan karang lunak (*sponge*) dan invertebrata yang lunak.

Penyu sisik memiliki karakteristik kepingan karapas yang tebal namun cantik karena berwarna khas. Jenis penyu ini memiliki paruh yang menyerupai elang, sehingga dinamai *hawkbill* dalam bahasa Inggris. Paruh berciri kokoh, namun tajam dan ramping sebagai bentuk adaptasi untuk mengekstrak *sponge* dan invertebrata lainnya dari koloni karang. Pada musim peneluran, seekor induk betina dapat meletakkan rata-rata 140 butir telur (terbanyak diantara

Gambar 61. Search jarum jam: beberapa jenis penyu di Indonesia: (a) Penyu Belimbing, (b) Penyu Hijau, (c) Penyu Sisik, dan (d) Penyu Lekang.

semua jenis penyu laut namun memiliki ukuran telur yang paling kecil) dengan masa inkubasi antara 55-75 hari.

PENYU LEKANG (*Lepidochelys olivacea*). Penyu Lekang juga dikenal dengan nama Lekang Pasifik, adalah penyu kedua terkecil dan yang paling banyak ditemukan di dunia. Jenis penyu ini umumnya ditemukan di perairan laut tropis yang hangat di samudra Pasifik, Hindia, dan Atlantik. Jenis penyu ini, bersama dengan kerabatnya yang juga berukuran kecil yaitu Penyu Kemp memiliki karakteristik unik yaitu induk betina bertelur dalam jumlah yang banyak pada saat yang sama, disebut 'Arribada' waktu di mana ribuan induk betina datang hampir bersamaan pada pantai peneluran yang sama untuk bertelur (Uwe dan Havas, 2007).

PENYU PIPIH (*Natator depressus*). Penyu pipih sebelumnya dinamai *Chelonia depressa* dan kemudian diubah pada tahun 1988 dan digolongkan ke dalam genus *Natator* yang berarti perenang (*swimmer*) dengan nama jenis *depressus* (Zangerl *et al.*, 1988). Jenis penyu ini mendapatkan nama umum pipih (*flat*) karena nyata dari bentuk karapasnya yang lebih pipih dibandingkan jenis penyu laut yang lain. Penyu pipih menyebar lebih terbatas (hanya hingga ke selatan wilayah perairan Indonesia: NTB, NTT, Maluku dan Arafura di Papua) dibanding jenis penyu lainnya, namun bertelur secara eksklusif (endemik) hanya di pantai berpasir di kawasan tropis dan juga subtropis di Australia yaitu di negara bagian Queensland (konsentrasi terbesar di Teluk Carpentaria, Northern Territory, dan Western Australia).

PENYU KEMP (*Lepidochelys kempii*). Penyu Kemp atau *Kemp's Ridley*, juga disebut Penyu Lekang Atlantik, adalah jenis penyu laut terkecil, mencapai ukuran dewasa pada panjang karapas antara 58–70 cm dengan berat hanya berkisar antara 36–45 kg (Coleman 2016, Conant 1975), merupakan jenis paling jarang dan statusnya kini kritis terancam (*critically endangered*). Hal ini karena penyu Kemp hanya menyebar dan bertelur di pantai-pantai di kawasan Teluk Mexico dan samudra Atlantik terutama di bagian tenggara Amerika Serikat.

Siklus Hidup

Awal hidup penyu terjadi di pantai peneluran selama masa inkubasi. Setiap telur berisi kuning telur berwarna kuning cerah, digunakan sebagai sumber makanan bagi embrio yang berukuran kecil sehingga bisa tumbuh menjadi bayi penyu yang lengkap terbentuk dan disebut tukik. Terkadang kondisi selama masa inkubasi yang kurang memadai, seperti pantai yang terlalu kering atau terlalu basah, atau adanya pemangsa (seperti kepiting atau semut) yang menyerang sarang, atau tumbuhnya akar tumbuhan pantai ke dalam sarang, pada akhirnya dapat merusak telur. Suhu inkubasi yang dingin menghasilkan tukik jantan sedangkan suhu yang hangat akan menghasilkan tukik betina. Tukik biasa beristirahat dalam sarang selama 1-7 hari sebelum mencapai permukaan pasir. Begitu tukik merasakan kekuatan gelombang, mereka akan berenang sangat cepat untuk mencapai air yang dalam.

Perilaku Bersarang Penyu Laut

Mengapa penyu betina bertelur di malam hari? Hal ini untuk mengurangi risiko terkait predator, perburuan pada siang hari, dan pemanasan karena paparan sinar matahari. Penyu laut betina dewasa biasanya kembali ke pantai (atau garis pantai) di mana mereka dilahirkan. Naluri ini (ilmuwan menyebutnya "tempat lahir") diturunkan oleh induk ke tukik melalui materi genetik yang disebut mtDNA (DNA mitokondria). Mekanisme yang digunakan nampaknya melibatkan isyarat kompas magnetik planet bumi.

Apa yang dicari induk penyu betina di pantai? Tidak diketahui dengan pasti. Suhu, kelembaban, tinggi air (pasang surut) dan tanda-tanda seperti kemiringan pantai, butir pasir, gundukan pasir dan vegetasi, dapat berperan dalam seleksi tempat bertelur. Bagaimana induk membuat sarang? Setelah landasan tubuh (*body pit*) dibuat, maka induk akan berhenti menggerakkan sirip depan dan memulai menggunakan sirip belakang untuk mengangkat pasir pantai, lalu melemparkan pasir ke sisi luar (agar tidak jatuh kembali ke dalam lubang sarang). Bagaimana induk tahu untuk berhenti menggali? Saat sirip belakangnya tidak bisa lagi mencapai dasar lubang sarang yang dibuat (sekitar 50-70 cm).

Pemanfaatan dan Ancaman Bagi Kelangsungan Hidup Penyu

Jenis penyu yang paling terancam di Indonesia adalah penyu belimbing dan penyu sisik. Kabar baiknya, setelah upaya konservasi dilaksanakan bertahun-tahun, kita beruntung kawasan pantai utara Kabupaten Tambrauw memiliki populasi penyu belimbing yang terbesar di Pasifik yang masih tersisa (Tapilatu, 2014 dan Tapilatu *et al.*, 2017). Penyu terancam terutama akibat pengambilan telur dan perburuan penyu untuk konsumsi daging, telur, dan minyak, atau ketika penyu terkait pada alat tangkap ikan; hilangnya pantai tempat meletakkan sarang karena erosi, penambangan pasir, pembangunan penghalang pantai dan pekerjaan konstruksi jalan; dan kondisi yang memburuk di pantai karena hilir mudik kendaraan, lampu, kebisingan, anjing, babi dan hambatan lain (misalnya gundukan, kapal, pagar). Ancaman di laut termasuk perburuan di laut, juga terlilit dan kemudian mati karena tenggelam dalam jaring dan jenis alat tangkap lainnya juga karena tumpahan minyak dan polusi terutama plastik (Perryman and Tapilatu, 2018); predator, dan perubahan iklim (Saba *et al.*, 2012). Ancaman lain, termasuk terkait perubahan iklim, dibahas di bagian Ancaman pada buku ini.

Peran Ekologis Penyu Laut

Secara ekologis, melestarikan penyu berarti tetap menjaga kesinambungan suplai energi dari ruaya pakan ke pantai peneluran. Akumulasi sumber pakan berupa lamun atau *sponge* yang dilakukan selama bertahun-tahun di daerah pakan, akan dipindahkan ke pantai-pantai peneluran dalam

bentuk telur. Perilaku dan *preference* pakan penyu belimbing terhadap ubur-ubur laut membantu untuk mengontrol populasi ubur-ubur di laut. Pola makan penyu hijau yang cenderung menyukai lamun tua melalui grazing, secara tak langsung tetap menjaga kesuburan dan ketersediaan lamun dan menghindari daun lamun tua terjangkit penyakit. Kesukaannya akan alga, juga berarti melindungi terumbu karang dari kehancuran akibat ledakan alga.

2.1.11.2 Ular Laut (*Sea Snake*)

Pada umumnya sebaran ular laut terbatas pada perairan tropis yang hangat di samudra Hindia dan Pasifik (Stidworthy, 1974), tidak ditemukan di samudra Atlantik (Mehrtens, 1987). Dengan demikian ular laut dapat ditemukan di Indonesia. Sekalipun teradaptasi hidup pada lingkungan perairan laut, kebanyakan ular laut menyenangi perairan dangkal yang dekat dengan daratan, sekitar pulau-pulau, dan khususnya perairan yang terlindung dan juga dekat dengan daerah estuari (Rasmussen, 2001, Stidworthy, 1974). Ular laut dapat berenang ke arah hulu sungai dan dilaporkan mencapai jarak jauh hingga 160 km dari laut. Beberapa ular laut hidup di daerah mangrove dan juga habitat yang berair payau.

Ada sembilan genus ular laut. Umumnya ular laut memiliki bisa yang sebagian kemampuan racunnya dapat berlipat dari ular darat. *Laticauda* spp. (erabu), *Parahydrophis mertoni* (ular setu), dan *Aipysurus laevis* (ular zaitun) umum ditemui di terumbu karang. Karenanya pada saat menyelam di perairan karang perlu mewaspadaai keberadaan ular laut berbisa. Erabu mudah diketahui dan dikenali dari warna belang hitam putih atau hitam kuning.

2.1.11.3 Buaya Muara/Air Asin

Buaya adalah hewan reptil bertubuh besar yang hidup umumnya di air. Buaya umumnya menghuni habitat perairan termasuk di air payau seperti buaya muara (*Crocodylus porosus*). Kendatipun habitat aslinya di muara, buaya ini dapat berenang hingga ke laut sehingga dikenal juga sebagai buaya air asin. Jenis buaya ini adalah salah satu yang terbesar. Makanannya sangat bervariasi meliputi ikan, amfibi, reptil, burung, hingga mamalia.

2.1.11.4 Iguana Laut

Iguana laut (*Amblyrhynchus cristatus*) adalah jenis iguana yang endemik ditemukan di Kepulauan Galapagos, Ekuador. Iguana laut memiliki kemampuan mencari makan di dasar laut, membuatnya menjadi salah satu reptil laut. Hewan laut ini secara khusus hanya memakan alga laut di mana iguana laut jantan dewasa mencari makan dengan menyelam di dasar perairan, sedangkan betina dan jantan yang berukuran kecil makan pada saat air surut di zona pasang surut (Vitousek *et al.*, 2007).

2.1.12 Burung Laut/Pantai

Burung mempunyai daya atraktif tersendiri bagi manusia karena warna, bentuk, kicauan suara maupun tingkah laku. Burung laut/pantai dikategorikan sebagai bagian dari burung air. Indonesia memiliki 15 lokasi penting persinggahan bagi lebih dari 1000 ekor burung di setiap musim migrasi.

Burung laut/pantai atau “waders” adalah burung air yang kehidupan secara ekologi telah beradaptasi dan sangat bergantung dengan lingkungan laut/pantai. Burung laut/pantai hidup lebih lama, lebih lambat berkembang biak, dan memiliki jumlah anak lebih sedikit dibanding jenis burung lain. Spesies burung laut/pantai merupakan burung yang mencari makan di laut lepas dan kembali ke darat untuk berkembang biak di pulau/pantai serta melakukan migrasi musiman.

Secara umum, burung akuatik menggunakan kakinya untuk berenang, atau mempunyai kaki yang panjang untuk berjalan di air yang memungkinkan mereka untuk mencari makanan di lingkungan akuatik. Burung laut tak dapat menghindar dari penyerapan garam dari air laut yang bertolak belakang dengan masalah fisiologi untuk mempertahankan keseimbangan osmotik. Banyak burung laut mengatasi masalah ini dengan modifikasi kelenjar lakrimal untuk mengeluarkan kelebihan garam melalui lubang hidung.

Diversitas dan klasifikasinya

Jumlah burung laut/pantai yang ada di Indonesia terdapat 69 jenis dalam 8 suku dari 214 jenis dalam 12 suku yang sudah diidentifikasi di dunia. Suku burung laut/pantai yang ditemui di Indonesia antara lain: *Rostratulida*, *Haematopidae*, *Charadriidae*, *Scolopacidae*, *Recurvirostridae*, *Phalaropodidae*, *Burhinidae*, dan *Glareolidae*.

Jenis Burung Laut/Pantai

Trinil pantai (*Actitis hypoleucos*) adalah spesies burung dari suku Scolopacidae. Burung ini merupakan jenis burung pemakan invertebrata seperti jenis krustasea yang memiliki habitat di gosong lumpur, beting pasir, pantai, sungai, sawah, tersebar sampai ketinggian 1.500 m dpl.

Trinil pantai memiliki tubuh berukuran agak kecil (20 cm). Paruh pendek. Bagian atas coklat, bulu terbang kehitaman. Bagian bawah putih dengan bercak abu-abu coklat pada sisi dada. Alis mata, coretan hitam melewati mata. Ciri khas waktu terbang adalah garis sayap putih, tunggir tidak putih, garis putih pada bulu ekor terluar. Iris coklat, paruh abu-abu gelap, kaki hijau zaitun pucat. Tidak kenal lelah, berjalan dengan menyentak tanpa berhenti. Terbang dengan pola khas, melayang dengan sayap kaku. Burung ini juga merupakan satwa yang umum di Taman Wisata Alam Angke, Kapuk, Jakarta Utara.

Trulek Jawa (*Vanellus macropterus*) adalah salah satu jenis burung yang sudah tidak pernah lagi dijumpai walaupun IUCN belum menetapkan status kepunahannya karena dianggap belum ada data yang valid terkait status kepunahannya. Burung ini endemik di wilayah Jawa walaupun tidak menyukai air tapi dia hidup dan mencari makan di daerah muara dan delta.



Gambar 62.
Trinil Pantai *Actitis hypoleucos* (Photo credit: <https://pixabay.com/id>)

Berkik-kembang besar (*Rostratula benghalensis*) satu satunya spesies burung dari famili Rostratulidae yang ditemukan di pesisir Sumatra, Jawa, dan Sunda Kecil.

Cerek besar (*Pluvialis squatarola*), **Cerek tilil** (*Charadrius alexandrinus*), **Cerek jawa** (*Charadrius javanicus*) adalah beberapa contoh jenis burung dari suku Charadriidae. Burung ini merupakan jenis burung pemakan invertebrata seperti cacing laut dan krustasea. Habitat hidup untuk mencari makan adalah di gosong lumpur dan pasir di daerah pasang surut, sungai, /daerah yang selalu tergenang air atau dikenal dengan istilah *paya paya*.

Kedidir Belang (*Haematopus longirostris*) dan **Kedidir Kelam** (*Haematopus fuliginosus*) merupakan jenis burung laut yang dilindungi.

BAB III

Ekosistem Laut, Pesisir, Pulau-pulau Kecil, dan Bioregion

Nur Azmi Ratna Setyawidati

*Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan,
Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)*

Kadarusman

*Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, KKD BP-SGK, Laboratory of Aquatic Biodiversity,
Conservation and Domestication, Sorong, Papua Barat; Sekolah Tinggi Perikanan, KKD Pengelolaan
Sumber Daya Perairan, SR. Bioekologi, Laboratorium Biologi dan Konservasi, Jakarta Selatan*

Rita Rachmawati

*Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan,
Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)*

Sinar Pagi Sektiana

Program Studi Teknologi Akuakultur, Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta

Ricardo F. Tapilatu

*Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) dan Program Sumber Daya
Akuatik (SDA) dan Ilmu Lingkungan - Pascasarjana Universitas Papua (UNIPA); Pusat Penelitian
Sumber Daya Perairan Pasifik (P2SP2) – Universitas Papua (UNIPA), Manokwari, Papua Barat*

Dini Purbani

*Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan,
Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)*

Sitasi:

Setyawidati N. A. R., Kadarusman, Rachmawati R., Sektiana S. P., Tapilatu R. F. 2019, & Purbani. D. Ekosistem Laut, Pesisir, Pulau-pulau Kecil, dan Bioregion, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Ekosistem Laut, Pesisir, Pulau-pulau Kecil, dan Bioregion

3.1 Ekosistem Laut

3.1.1 Estuari

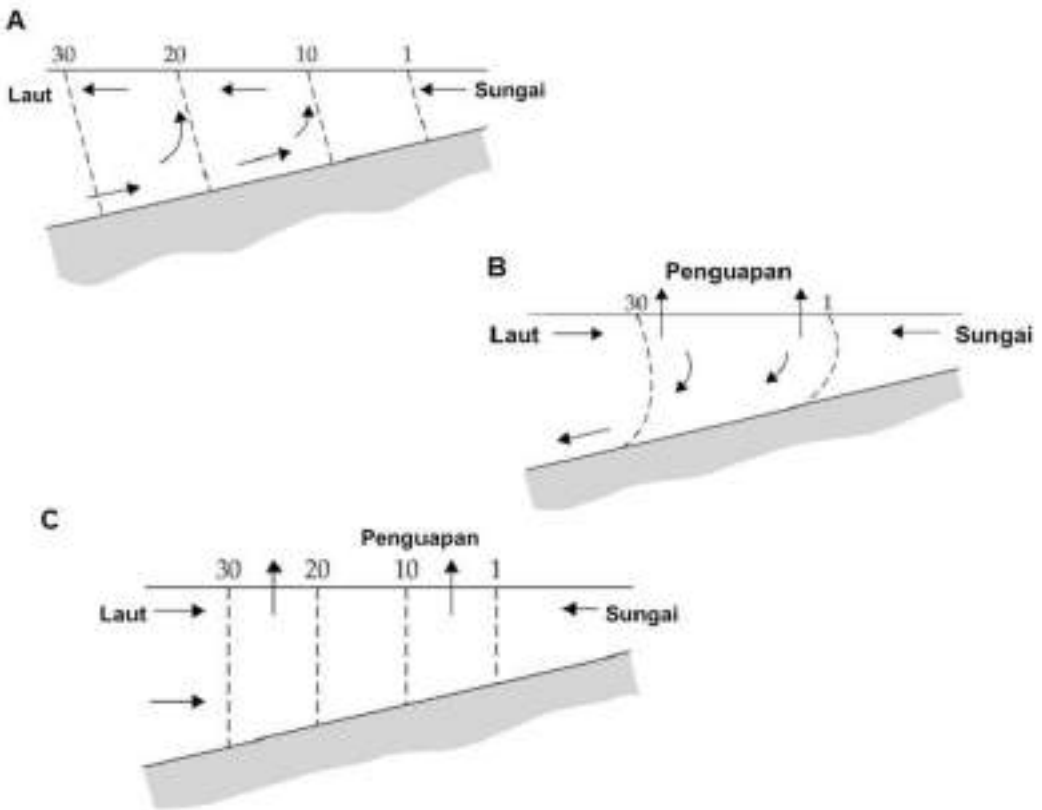
Estuari merupakan perairan semi tertutup di lingkungan pesisir, yang berhubungan langsung dengan laut lepas. Istilah estuari sendiri diambil dari bahasa latin, *aestus*, yang berarti pasang surut karena perilaku estuari lebih banyak didominasi oleh arus pasang surut dibandingkan dengan pengaruh arus yang ditimbulkan oleh angin atau gelombang. Pertemuan arus pasang surut dan arus sungai sangat berpengaruh pada tingkat salinitas, sedimentasi, dan biota yang hidup pada ekosistem tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor pembatas pada perairan estuari adalah pasang surut, aliran sungai serta angin, dan gelombang.

Estuari memiliki massa air yang bersifat dinamis, berupa campuran dari air asin dan air tawar, yang kadang tercampur sempurna namun juga kadang terstratifikasi membentuk lapisan tersendiri. Percampuran kedua massa air tersebut menghasilkan sifat-sifat yang tidak sama dengan massa air pembentuknya.

Secara horisontal *gradient* salinitas tertinggi di estuari lebih dekat dengan wilayah laut dan semakin rendah ke wilayah sungai. Sementara itu, secara vertikal, lapisan permukaan salinitas lebih rendah dibandingkan pada dasar perairan, dikarenakan berat jenis air asin lebih tinggi dibandingkan dengan air tawar.

Berdasarkan pada sirkulasi air dan stratifikasi airnya estuari terbagi atas 3 tipe yaitu (1) Estuari berstratifikasi sempurna, yang ditandai dengan adanya batasan yang jelas antara air tawar dan air asin; (2) Estuari berstratifikasi sebagian atau parsial, tipe ini paling umum dijumpai di tanah air; (3) Estuari campuran sempurna atau estuari homogen vertikal.

Perairan estuari mencakup di antaranya wilayah: muara atau hilir sungai, teluk, laguna, *fjord*, delta, rawa pasang-surut, hutan mangrove, badan air yang terpisah dari laut oleh pantai penghalang (*barrier beach*), laut pedalaman



Gambar 64. Jenis estuari berdasarkan distribusi salinitas: A) Estuari positif, jenis estuari yang banyak ditemukan di wilayah *temperate* di mana air tawar keluar dari atas air asin yang masuk dari laut dan bercampur perlahan-lahan secara vertikal dari dasar ke permukaan; B) Estuari negatif merupakan tipe estuari yang banyak dijumpai di wilayah tropis dimana penguapan di permukaan sangat tinggi menyebabkan salinitas permukaan naik (Photo credit: McLusky dan Elliot, 2004)

(*inland sea*), dan kawasan yang turun akibat aktivitas tektonik maupun vulkanik yang digenangi arus pasang surut.

Biota Penghuni Estuari

Untuk memudahkan pemahaman, biota yang hidup pada ekosistem estuari dikelompokkan menjadi lima kelompok (Bengen, 2002), yaitu :

1. Biota *oligostenohaline* didominasi oleh organisme air tawar dengan kisaran toleransi salinitas antara 0,1-5 ppm.
2. Biota estuari hidup di pusat estuari, biasanya merupakan biota yang menyingkir dari laut karena kalah berkompetisi.
3. Biota *euryhaline* hidup pada area transisi antara laut dengan pusat estuari, memiliki kisaran salinitas rata-rata 18 ppm.

4. Biota *polytenohaline* mendominasi mulut estuari dengan kisaran salinitas rata-rata 25 ppm.
5. Biota peruaya tinggal di estuari hanya sebagian dari siklus hidupnya atau menggunakan estuari sebagai rute beruaya menuju sungai atau laut, contoh organisme ini adalah sidat.

Fungsi dan Layanan

Wilayah estuari merupakan *hotspot* biogeokimia karena input nutrisi dan karbon organik yang diterima dari daratan dan lautan berjumlah besar. Kondisi ini untuk mendukung tingkat metabolisme yang tinggi dan produktivitas primer. Produksi primer fitoplankton tahunan (*Annual Phytoplankton Primary Production*, "APPP") di estuari menunjukkan tingkat konektivitas daratan - lautan.

3.1.2 Pantai

Pantai merupakan wilayah pesisir di sekitar area terdampak pasang surut dan meliputi area subtidal, intertidal, dan area di atasnya yang masih terkena dampak ombak atau air laut.

Pantai Berbatu

Pantai berbatu adalah pantai dengan substrat batu dan merupakan salah satu ekosistem bersubstrat keras. Adapun ukuran batu bervariasi, mulai dari yang kecil sekali hingga besar sekali. Umumnya pantai berbatu memiliki kondisi yang lebih curam dan sempit dibandingkan pantai berpasir. Selain itu pantai berbatu juga memiliki rongga yang lebih besar sehingga hewan yang hidup di antara batu pun berukuran lebih besar daripada *meiofauna* (mikroorganisme yang hidup di perairan) yang hidup di antara pasir. Meskipun demikian, biota yang hidup di ekosistem ini harus memiliki tingkat adaptasi yang tinggi, terutama terhadap kekeringan (desikasi) dan hempasan ombak. Ketersediaan ruang yang terbatas juga menjadikan kompetisi ruang antar individu dan antar koloni sangat tinggi. Predasi juga menjadi hal yang unik mengingat umumnya penghuni ekosistem ini adalah hewan sesil yang menempel pada substrat bebatuan atau infauna yang bergantung pada pergerakan air untuk berpindah tempat.

Ekosistem pantai berbatu umumnya memiliki zonasi yang lebih terstruktur berdasarkan eksposur terhadap udara atau kekeringan dan frekuensi terendam air laut. Karenanya biota yang hidup di bagian atas haruslah memiliki tingkat toleransi yang tinggi terhadap kekeringan dan suhu tinggi, akses oksigen, serta akses makanan yang terbatas. Kelompok biota yang hidup di bagian paling atas (supralitoral) ini umumnya adalah siput laut *Littorina* dan teritip (*barnacles*). Untuk zonasi di bawahnya (litoral) dihuni oleh semacam kerang hijau, sedangkan area sublitoral (wilayah mendekati subtidal) diisi oleh lebih beragam biota seperti anemon dan bintang laut di sela-sela rumput laut yang dominan. Beberapa jenis

biota, seperti kepiting *Emerita talpoida* dan tiram *Danax variabilis*, senang hidup di daerah tidak terlalu kering atau terpapar ombak sehingga cenderung mengikuti posisi pasang (Levinton, 2014). Sebagai infauna, mereka berpindah posisi dengan memanfaatkan ombak. Pada ekosistem ini, umumnya biota menempel adalah *filter feeder* yang mendapat suplai makanan dan oksigen dari air laut yang terbawa oleh pasang naik atau ombak.

Pantai Berpasir

Pantai berpasir adalah pantai dengan substrat pasir dan merupakan ekosistem bersubstrat lunak. Bahan material pantai pasir juga bervariasi, seperti aluvial (materi letusan gunung berapi), pecahan karang, cangkang kerang, hingga foraminifera. Ukuran materi pasir dapat bervariasi mulai dari yang halus sampai dengan kasar, yang merupakan fungsi dari jarak dan tingkat kelandaian terhadap sumber material serta kecepatan angin atau air yang membawa material tersebut.

Pantai berpasir merupakan ekosistem yang rendah tingkat keragamannya. Ekosistem ini juga tidak memiliki produser primer dan menggantungkan asupan makanan dari lautan bagi konsumen primer dan herbivora. Umumnya biota pantai berpasir pada area intertidal adalah infauna makro yang hidup di dalam pasir, seperti kepiting, kelomang, dan cacing, sedangkan pada area subtidal juga dihuni oleh epifauna seperti bintang laut. Selebihnya ekosistem pantai berpasir dihuni oleh meiofauna yang hidup di antara butiran pasir.

Pantai Berlumpur

Pantai berlumpur adalah pantai dengan substrat lumpur, yang merupakan substrat lunak. Jika penghuni pantai berpasir pada area intertidal merupakan infauna makro yang hidup di dalam pasir, seperti kepiting, kelomang, dan cacing, area subtidal berlumpur juga dihuni oleh epifauna seperti bintang laut. Sebagian besar dari infauna adalah *deposit feeder* yang menyaring makanan yang terdapat pada sedimen. *Deposit feeder* memiliki sumber daya makanan yang terbatas sehingga kompetisi ruang merupakan fungsi dari ketersediaan makanan di lingkungan sekitar. Biota *filter feeder* yang menyaring makanan dari air memiliki sumber daya makanan yang lebih tidak terbatas dibandingkan *deposit feeder* karena ketersediaan air laut yang lebih banyak serta sifatnya yang dinamis membuat kemungkinan menyaring makanan dari air laut lebih besar daripada dari sedimen di sekitar. Selain predator yang juga hidup di laut, biota infauna di daerah supralitoral juga terancam oleh predator luar seperti burung laut.

3.1.3 Hutan Mangrove

Untuk mendefinisikan hutan mangrove sebaiknya memperhatikan keberadaan

lingkungannya, termasuk sumber daya dan proses ekologi yang dinamis di dalamnya. Sedangkan parameter lingkungan yang paling menjadikan ekosistem hutan mangrove dinamis adalah pasang surut, sehingga perlu mekanisme adaptasi morfologi, anatomi, fisiologi, dan reproduksi di dalamnya.

Komponen lingkungan mangrove sangat dipengaruhi faktor lingkungan, antara lain fisiografi pantai dapat mempengaruhi komposisi, distribusi spesies dan lebar hutan mangrove; pasang surut akan berpengaruh pada hutan mangrove tergantung dari lama pasang, frekuensi pasang, dan durasi pasang; gelombang dan arus berpengaruh pada distribusi spesies, nutrien, sedimentasi dan abrasi substrat; iklim berpengaruh pada tumbuhan dan perubahan faktor fisik seperti penetrasi cahaya, curah hujan, dan angin; salinitas di mana kisaran 10-30 ppt merupakan salinitas optimum bagi pertumbuhan dan zonasi tumbuh mangrove; oksigen terlarut berperan penting dalam proses dekomposisi, respirasi, dan fotosintesis.

Berkaitan dengan hal-hal tersebut, Saenger *et al.*, 1983 mendefinisikan hutan mangrove sebagai :

1. *Exclusive mangrove*, yaitu satu atau lebih jenis pohon atau semak belukar yang hanya tumbuh di habitat mangrove.
2. *Non-exclusive mangrove*, yaitu setiap jenis tumbuhan yang tumbuh di habitat mangrove, dan keberadaannya tidak terbatas pada habitat mangrove saja
3. Biota, yaitu semua jenis biota yang berasosiasi dengan mangrove sebagai habitat antara lain ikan, udang, moluska, burung, mamalia, reptil dan amfibi.
4. Proses (*upwelling*, abrasi, sedimentasi), yaitu setiap proses yang berperan penting dalam menjaga atau memelihara keberadaan ekosistem mangrove.

Berdasarkan distribusi, karakteristik biologi, kadar garam, dan intensitas penggenangan lahan, hutan mangrove memperlihatkan pola zonasi. Hal tersebut didasarkan atas tipe tanah, keterbukaan, salinitas, dan pasang surut, yang antara lain mencakup 1) Vegetasi inti di mana jenis ini membentuk hutan mangrove di daerah zona intertidal yang mampu bertahan terhadap pengaruh salinitas (garam), yang disebut tumbuhan halofita. Jenis vegetasi mangrove paling utama adalah *Rhizophoraceae*, *Pelliceriaceae*, *Avicenniaceae*, dan *Ombretaceae*. Vegetasi ini hidup di zona terbuka (*seaward zone*) dan mangrove tengah (*mid zone*); 2) Vegetasi Marginal, jenis ini biasanya dihubungkan dengan mangrove yang berada di darat, di rawa musiman, pantai dan/atau habitat mangrove marginal; 3) Vegetasi fakultatif marginal, jenis ini tumbuh berkembang di daerah dengan kadar garam sekitar 10 promil. Jenis ini banyak digunakan untuk pembangunan oleh manusia.

Secara fungsi ekologi dan dalam proses adaptasinya tumbuhan bakau mampu mengontrol konsentrasi garam melalui tiga cara, yaitu mengeluarkan garam (*salt selector*), contohnya *Avicenia*; tidak mengeluarkan garam (*salt*

excluder), contohnya *Rhizophora*; mengakumulasi garam pada bagian jaringan tanaman contohnya *Bruguiera*.

Sementara Lugo dan Snedaker (1974) memberikan pengelompokan tersendiri dari enam jenis kelompok (komunitas) berdasar pada bentuk hutan, proses geologi dan hidrologi, yaitu *Overwash mangrove forest*, *Fringe mangrove forest*, *Riverine mangrove forest*, *Basin mangrove forest*, *Hammock forest*, *Scrub* atau *dwarf forest*

Manfaat dan Peran Hutan Mangrove

1. Fungsi fisik

Secara fisik mangrove memiliki peran sebagai pelindung pantai dari gelombang, angin, dan badai. Mangrove memiliki sifat yang mampu mengikat sedimen yang terlarut dari sungai sehingga meminimalkan terjadinya erosi atau abrasi, bahkan dalam perlindungan terhadap bahaya tsunami. Mangrove juga memiliki kemampuan sebagai penyerap limbah dan mengurangi polutan. Mangrove mampu menekan laju intrusi air laut ke arah daratan.

2. Fungsi ekologi

Mangrove memiliki peran penting dalam menunjang peningkatan produktivitas pesisir terutama perikanan, terkait dengan siklus hidup biota pesisir seperti udang-udangan, ikan, dan kekerangan. Mangrove memiliki peran penting dalam menyediakan habitat bagi biota perairan dan terestrial. Menurut Lugo dan Snedaker (1974), produktivitas mangrove sangat tinggi, yaitu sekitar 5000g-C/m²/tahun.

3. Fungsi sosial ekonomi

Mangrove banyak dimanfaatkan oleh masyarakat tradisional sebagai bahan bakar, bahan bangunan rumah, tanin, obat-obatan dan pertanian. Mangrove juga dapat diolah menjadi produk makanan, tanin, bahan baku *chips*. Di beberapa daerah hutan mangrove diubah menjadi lokasi ekowisata dan telah banyak diminati wisatawan.

Status Mangrove Indonesia

Luas mangrove Indonesia berkisar antara 2,5 -4,5 juta ha dan merupakan kawasan hutan mangrove terluas di Asia. Namun keberadaan hutan mangrove di Indonesia juga telah banyak mengalami degradasi. Antara lain terjadi karena faktor alami dan antropogenik. Banyak upaya yang telah dilakukan pemerintah maupun masyarakat untuk merehabilitasi hutan mangrove, namun ada beberapa langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam rehabilitasi mangrove: a) pemahaman kondisi wilayah yang ideal untuk ditanami mangrove dengan jenis yang sesuai, b) pembibitan dan persemaian mangrove memerlukan kebun bibit dan semai sesuai mangrove yang tumbuh di wilayah lokal, c) penanaman

mangrove memperhatikan cara, jarak tanam yang tepat dan pemeliharaan terhadap gangguan.

3.1.4 Padang Lamun

Karakteristik pada ekosistem lamun, rantai makanan tersusun dari tingkat-tingkat trofik yang mencakup proses pengangkutan *detritus* organik dari ekosistem lamun ke konsumen. Sumber organik berasal dari produk lamun itu sendiri di samping tambahan dari epifit, fitoplankton, alga, dan tanaman darat. Material organik tersebut dimanfaatkan oleh biota asosiatif melalui perumputan (*grazing*) dan konsumsi *detritus*.

Diversitas dan Biota Asosiatif

Ekosistem lamun (*seagrass ecosystem*) adalah satu sistem (organisasi) ekologi padang lamun, di mana di dalamnya terjadi hubungan timbal balik antara komponen abiotik dan komponen biotik hewan dan tumbuhan. Kendatipun tidak banyak jenis tumbuhan lamun, namun diversitas pada ekosistem ini sangat tinggi sebagai kontribusi dari biota asosiatif.

Pada ekosistem lamun, padang lamun terbentuk oleh satu jenis lamun (*monospecific*) atau lebih (*mixed vegetation*) dengan kerapatan tanaman yang dikategorikan dalam padat (*dense*); sedang (*medium*) dan jarang (*sparse*). Kajian Pusat Penelitian Oseanografi LIPI (2017) yang didasarkan pada 166 stasiun di seluruh Indonesia menunjukkan tutupan lamunnya rata-rata adalah 41.79 persen yang berarti tergolong kondisi kurang sehat.

Sebagai ekosistem bersubstrat lunak, dalam hal ini pasir, padang lamun menyediakan ruang hidup berbagai jenis invertebrata, reptilia, hingga mamalia laut. Beragam infauna dan epifauna, termasuk epifit ditemukan hidup di substrat pasir maupun permukaan tanaman lamun.

Aktivitas fisik infauna ini meningkatkan kegemburan pasir substrat hidup tanaman lamun. Demikian pula epifauna yang merupakan deposit feeder yang juga memberi kontribusi peningkatan kesuburan substrat tumbuh padang lamun.

Kehadiran perumput atau *grazer*, seperti *manatee*, dugong, penyu, dan lainnya sangat penting bagi kesehatan tumbuhan lamun yang berdampak pada kesehatan ekosistem pada lamun. Konsumsi rutin lembaran-lembaran daun lamun, membuat tanaman lamun meremajakan daun-daunnya dan menghindari banyaknya daun lamun tua akibat tidak dikonsumsi. Daun lamun tua beresiko lebih tinggi terjangkit penyakit, terutama akibat jamur dan fungi.

Ekosistem padang lamun menyediakan ruang bagi banyak organisme untuk hidup dan berkembang biak. Karenanya, ekosistem ini juga menjadi penyedia makanan yang beragam. Helai tanaman lamun berfungsi untuk menyaring sedimen dari darat dan penyelamat koloni karang dari kekeruhan

dan tutupan sedimen. Selain itu helaian tanaman lamun, terutama yang berjenis tumbuh tinggi, membantu larva yang terbawa oleh air untuk turun ke substrat sehingga terjadilah rekrutmen.

Namun, karena lokasinya yang relatif dekat dengan daratan, ekosistem ini sangat rentan terhadap polusi dan limbah termasuk sedimen dari darat. Sedimen berlebih dari daratan juga menyebabkan kekeruhan yang tinggi, mengakibatkan terganggunya penetrasi cahaya matahari yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis. Polusi dapat membawa bibit penyakit bagi tanaman lamun. Penyakit pada lamun juga dapat terjadi akibat menurunnya populasi herbivora terutama pemakan utama daun lamun.

Untuk konservasi dan restorasi ekosistem padang lamun, hendaknya kita memelihara keberadaan bivalvia (kerang bercangkang dua) dan perumput (*grazer*) serta herbivora. Sebagai *suspension-feeder*, bivalvia membantu menyaring air dan menurunkan resiko terjangkit penyakit. Herbivora dan perumput memastikan akan tumbuh daun-daun baru yang juga menurunkan resiko terjangkit penyakit diakibatkan agen penyakit pada daun yang tua.

3.1.5 Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem laut yang paling tinggi keragamannya. Ekosistem ini memiliki struktur dasar terumbu yang dihasilkan oleh komunitas karang keras, yang berasosiasi dengan banyak biota laut lainnya membentuk ekosistem yang sangat kaya. Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem unik yang berada di sekitar ekuator karena kebutuhan akan cahaya matahari. Struktur utama ekosistem ini adalah karang keras yang merupakan karang hermatipik, artinya membentuk terumbu. Untuk menghasilkan bahan kalsium karbonat pembentuk terumbu, karang membutuhkan kehadiran *zooxanthellae*, mikroalga simbiotik yang hidup di dalam jaringan karang dan melakukan fotosintesis untuk menghasilkan makanan bagi karang. Fotosintesis *zooxanthellae* membutuhkan sinar matahari yang cukup dan terus-menerus. Karenanya ekosistem terumbu karang hanya ditemukan di daerah tropis hingga sekitar lintang 30 derajat dan perairan dangkal yang masih mendapatkan cukup sinar matahari. Terbatasnya sebaran terumbu karang pada lintang rendah dan perairan dangkal disebabkan karena mereka tidak dapat hidup di air yang dingin. Untuk dapat tumbuh normal karang keras membutuhkan suhu sekitar 27 - 30° C. Di Laut Merah, terumbu karang beradaptasi untuk hidup di suhu lebih tinggi, sebaliknya di beberapa lokasi dapat hidup di suhu lebih rendah.

Selain membutuhkan paparan sinar matahari yang cukup, karang juga membutuhkan perairan yang jernih dan sedimentasi rendah, karena partikel dalam air akan menghalangi penetrasi sinar matahari dan sedimen yang mengendap di permukaan karang dapat menutup polip karang. Karenanya jarang kita temukan terumbu karang di sekitar muara sungai atau perairan yang keruh. Karang juga tidak bisa hidup di perairan dengan gelombang dan arus yang kuat karena dapat merusak struktur karang secara fisik. Walaupun

begitu, karang membutuhkan perairan dengan sedikit pergerakan air, terutama untuk membantu polip karang mendapatkan plankton dari kolom air sebagai makanan.

Karena membutuhkan perairan yang jernih, terumbu karang idealnya berada di belakang ekosistem padang lamun dan hutan mangrove yang membantu menyaring sedimen dan menurunkan nutrisi dari daratan. Umumnya, dari arah daratan pertama kali ditemukan ekosistem hutan mangrove, kemudian ekosistem padang lamun di perairan dangkal, selanjutnya barulah ekosistem terumbu karang yang dapat mencapai bagian dasar yang curam dan lebih dalam (Gambar 65).

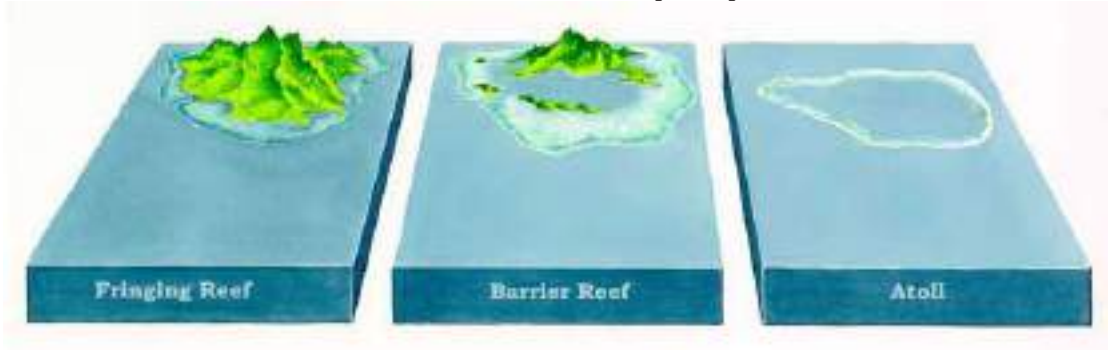
Gambar 65. Tiga ekosistem pesisir yang saling terkait, dimulai dengan ekosistem hutan mangrove di pesisir daratan dan substrat berlumpur, diikuti oleh ekosistem padang lamun di perairan dangkal bersubstrat pasir, dan selanjutnya adalah ekosistem terumbu karang yang meliputi perairan dangkal, miring dan lebih dalam bersubstrat keras. Ilustrasi dilengkapi dengan fungsi dari masing-masing ekosistem.



Ketiga ekosistem pesisir ini saling terkait dalam fungsi ekologis maupun fungsi perlindungan pantai. Peran ekologis meliputi ketiga ekosistem sebagai daerah pemijahan, daerah asuhan, dan daerah penyedia makanan. Banyak ikan pelagis, ikan karang, maupun invertebrata yang memanfaatkan ekosistem pesisir untuk memijah. Di ketiga ekosistem ini banyak sekali ditemukan larva berbagai jenis biota laut yang pada fase dewasanya hidup di ekosistem lain, di laut lepas maupun di laut dalam. Untuk perlindungan pantai, ketiga ekosistem berfungsi untuk meredam gelombang, mencegah abrasi, dan menurunkan energi gelombang tsunami.

Ekosistem terumbu karang merupakan salah satu ekosistem pesisir bersubstrat keras. Berdasarkan proses pembentukannya, terdapat tiga jenis terumbu, yaitu karang tepi, karang penghalang, dan karang atol atau karang cincin (Gambar 66). Karang tepi terbentuk di sisi gunung yang tumbuh muncul ke permukaan laut, misalnya karang tepi di Nusa Dua (Bali), Bunaken (Sulawesi), Pulau Panaitan (Banten). Selanjutnya terjadi penurunan atau amblasnya gunung

sehingga membentuk celuk berisi air antara gunung dan karang penghalang, seperti di Spermonde (Sulawesi Selatan) dan Kepulauan Banggai (Sulawesi Tengah). Setelah gunung amblas hingga puncaknya berada di bawah permukaan air, terbentuk laguna di tengah karang atol yang berbentuk cincin, contohnya adalah karang cincin Taka Bone Rate (Sulawesi Selatan), Maratua di Kepulauan Derawan (Kalimantan Selatan), Pulau Dana (NTT), dan Mapia (Papua).



Jenis karang yang dominan di zonasi yang berbeda berasosiasi dengan jenis adaptasi. Terumbu bagian belakang, pada perairan sangat dangkal yang terlindung dari hempasan ombak dan kadangkala muncul di permukaan air saat surut, didominasi oleh karang yang relatif tahan dan mampu beradaptasi dengan paparan sinar matahari yang tinggi dan kekeringan.

Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem laut yang paling tinggi keragaman hayatinya. Terdapat banyak hubungan simbiosis yang terjadi. Simbiosis mutualisme atau saling menguntungkan terjadi antara *zooxanthellae* dengan berbagai inang di ekosistem terumbu karang seperti karang keras, karang lunak, kima, dan cumi-cumi. Simbiosis mutualisma juga terjadi pada banyak organisme seperti anemon dan ikan badut dimana ikan badut mendapat tempat berlindung di sekitar anemon yang menyengat sedangkan dengan adanya ikan badut, anemon mendapat perlindungan dari ancaman predator.

Terumbu karang Indonesia dihuni oleh setidaknya 10 suku (*family*) dan 1.149 spesies ikan karang, yang merupakan 56 persen dari total ikan karang di dunia (Adrim dan Allen, 2003). Kesepuluh suku tersebut, berurut dari keragaman tertinggi, yaitu *Gobiidae* (272 spesies), *Labridae* (178), *Pomacentridae* (152), *Apogonidae* (114), *Blenniidae* (107), *Serranidae* (102), *Muraenidae* (61), *Syngnathidae* (61), *Chaetodontidae* (59), dan *Lutjanidae* (43).

Karena kebutuhan akan sinar matahari, karang akan tumbuh ke ruang terbuka. Apabila arah tumbuhnya terhalang untuk mendapatkan sinar matahari, maka arah tumbuhnya akan berbelok ke arah yang tidak terhalang. Karenanya kadang kita melihat bentuk pertumbuhan karang tidak sempurna karena ada pergeseran arah pertumbuhan.

Gambar 66. Tiga macam terumbu karang berdasarkan fase pembentukannya: karang tepi (*fringing reef*) merupakan terumbu karang yang terbentuk di sekitar gunung yang tumbuh hingga di atas permukaan laut membentuk pulau, karang penghalang (*barrier reef*) adalah gugusan terumbu yang tertinggal saat gunung amblas sebagian menyisakan bagian puncak berada di atas permukaan laut, dan terakhir adalah karang atol atau karang cincin, berupa gugusan terumbu berbentuk cincin dengan laguna (*lagoon*) di tengahnya sebagai akibat gunung amblas seluruhnya masuk ke dalam laut, menjadi gunung laut. (Photo credit: edubio.info)

Selain kompetisi ruang untuk mendapatkan akses matahari, beberapa koloni karang secara agresif menyerang koloni karang tetangga untuk memenangkan ruang yang terbatas. Koloni karang saling menyerang menggunakan tentakelnya.

Selain sebagai habitat hidup berbagai jenis organisme, terumbu karang juga berperan sebagai daerah pemijahan, daerah pengasuhan, dan tempat mencari makan karena tersedianya makanan yang melimpah pada ekosistem terumbu karang yang sehat.

Meningkatnya suhu air laut di atas batas toleransi maksimum untuk jangka waktu tertentu dapat menyebabkan pemutihan karang (*coral bleaching*), yaitu terputusnya simbiosis mutualisme antara karang dengan *zooxanthellae* yang menyebabkan karang berwarna putih.

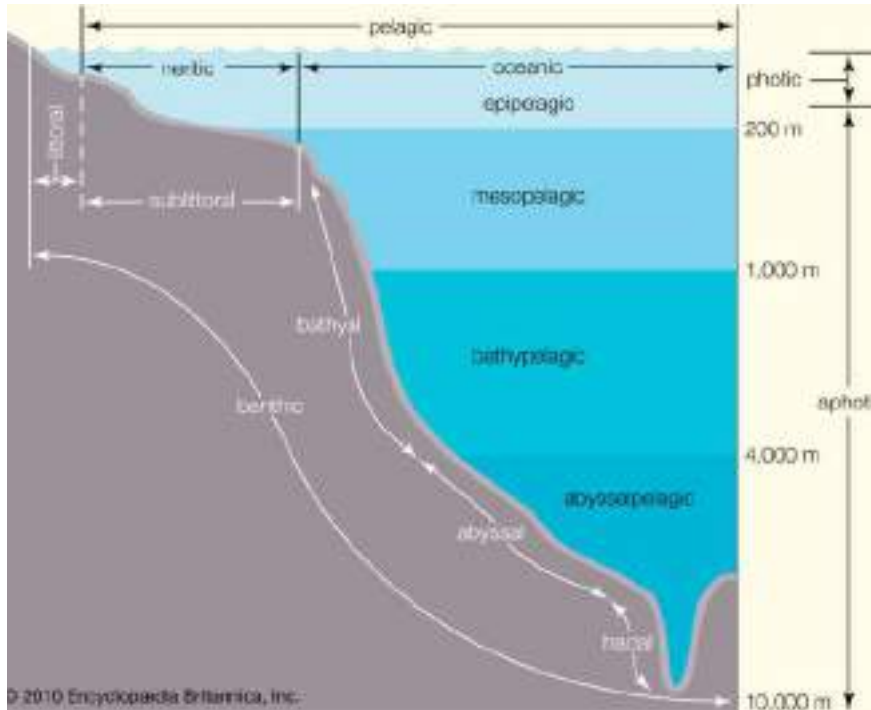
Serangan bintang laut *Acanthaster planci* atau dikenal dengan istilah *Crown of Thorns Starfish*, disingkat COTS, yang memakan polip karang hidup dapat menyebabkan kematian karang dalam jumlah besar dalam waktu singkat sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem terumbu karang. Meledaknya populasi COTS dapat disebabkan oleh menurun atau hilangnya biota pemangsa atau predator dari COTS, seperti ikan napoleon (*Cheilinus undulatus*) dan siput laut triton (*Charonia*), atau perubahan iklim yang menjadikan kondisi perairan sangat cocok bagi COTS untuk hidup subur dan berkembang biak.

Untuk mengurangi populasi COTS atau mengantisipasi meledaknya populasi predator karang ini, COTS diangkat satu per satu lalu dibawa ke darat. Jangan sekali-sekali membunuh COTS di dalam air, karena sebelum mati hewan ini akan mengeluarkan banyak larva yang kontradiktif dengan tujuan semula menurunkan populasinya. Ukuran COTS cukup besar, dapat mencapai 1 meter, dan merupakan bintang laut terbesar kedua setelah *Giant Sunstar*. Badannya dilindungi duri beracun yang berbahaya bagi manusia dan biasanya menempel erat pada koloni karang yang dimangsanya sehingga cukup sulit dalam proses pemindahan ke darat. Apabila terlalu banyak COTS yang perlu diatasi, pengambilan secara manual membutuhkan tenaga dan waktu yang besar. Alternatifnya adalah menyuntikkan natrium bisulfat pada 3 titik di tubuh COTS, yang akan menyebabkan kematian akibat kerusakan pada sistem sarafnya.

3.1.6 Laut Lepas

Ekosistem laut lepas identik dengan area oseanik dan kata pelagik. Istilah pelagik, memiliki makna beragam tergantung konteksnya. Wilayah laut dapat dilihat dari sisi horizontal dan vertikal. Secara horizontal, wilayah pelagik adalah lawan dari wilayah darat, artinya wilayah pelagik identik dengan air laut, yaitu wilayah perairan mulai dari pasang terendah hingga ke laut lepas, yang terbagi menjadi wilayah neritik dan oseanik. Wilayah neritik berbatas ujung paparan benua ke arah daratan sedangkan wilayah oseanik berawal

dari ujung paparan benua ke arah laut lepas (Gambar 67). Secara vertikal, wilayah pelagik berasosiasi dengan kolom air, terbagi atas epipelagik, mesopelagik, batipelagik, serta abisapelagik, adapun biota laut yang hidup di kolom air disebut sebagai hewan pelagis. Di sisi lain, wilayah yang berasosiasi dengan dasar laut merupakan wilayah demersal sehingga biota laut yang hidup di sekitar dasar laut disebut sebagai hewan demersal. Umumnya hewan pelagis bersifat migratif, sedangkan hewan demersal bersifat menetap.

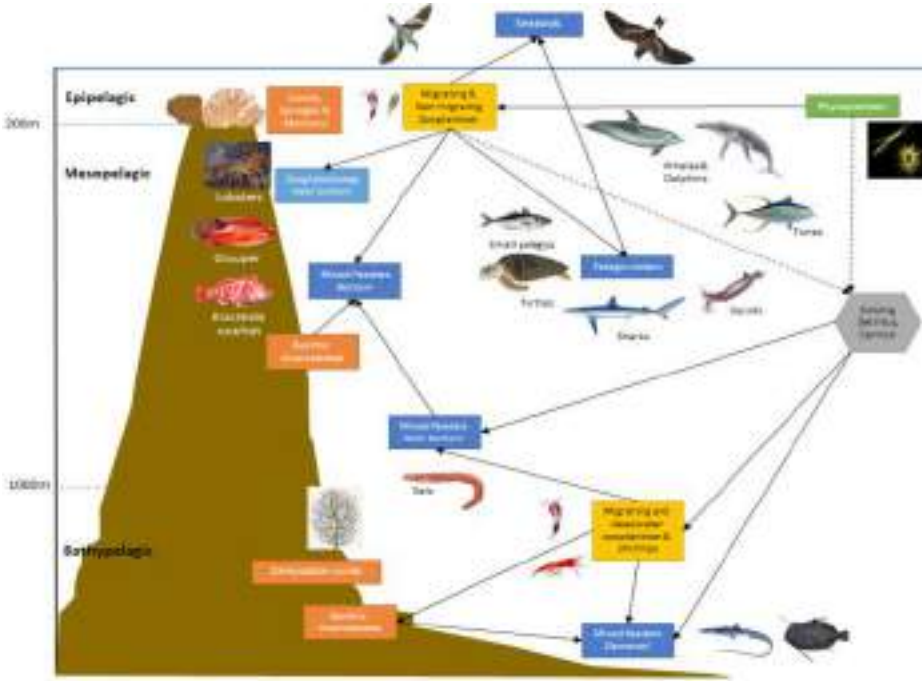


Gambar 67. Pembagian wilayah laut secara horizontal dan vertikal. Perairan laut disebut juga wilayah pelagik, yang secara horizontal terbagi atas neritik yang dangkal dan oseanik yang merupakan laut lepas. Adapun secara vertikal, terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu kolom air yang disebut pelagik dan substrat atau dasar laut yang disebut demersal atau bentik. (Photo credit: Encyclopaedia Britannica, Inc.)

Di antara ekosistem laut, ekosistem laut lepas yang berada di wilayah pelagik merupakan ekosistem dengan produktivitas rendah. Walaupun secara luasan besar dan mendapat akses sinar matahari, tetapi miskin unsur hara yang merupakan kebutuhan utama dalam fotosintesis tidak tersedia. Hanya beberapa lokasi khusus di laut lepas yang memiliki produktivitas primer tinggi karena adanya asupan unsur hara dalam jumlah besar yang berakibat pada tingginya biomassa di lokasi tersebut akibat rantai makanan. Beberapa lokasi dengan produktivitas primer tinggi di laut lepas diantaranya, di atas gunung laut dan di daerah *upwelling*.

Gunung laut seringkali disebut oasis di tengah laut karena di wilayah perairan laut lepas yang produktivitasnya rendah, gunung laut merupakan area yang sangat produktif dengan keragaman tinggi (Gambar 68). Air laut dalam yang kaya akan nutrisi bergerak secara horizontal akan terhalang oleh struktur gunung laut, akibatnya arah aliran air laut dalam mengarah ke atas (*upwell*) dan saat bertemu dengan sinar matahari menjadikan wilayah bagian atas dari gunung laut memiliki produktivitas primer atau fitoplankton yang tinggi. Secara hukum efek berantai dari bawah ke atas pada rantai makanan

Gambar 68. Gunung laut sebagai oasis di tengah laut lepas memiliki keragaman biota yang sangat tinggi, meliputi biota laut dalam hingga biota yang hidup di permukaan laut. (Photo credit: caboverde-volcano.org)



(*bottom-up trophic cascade*), maka melimpahnya fitoplankton akan meningkatkan kelimpahan zooplankton yang akan menarik biota laut lainnya ke ekosistem ini. Selain diawali oleh produktivitas primer yang tinggi akibat asupan zat hara dari laut dalam, keragaman yang tinggi pada ekosistem ini juga didukung oleh suburnya substrat di permukaan gunung yang menjadi tempat ideal bagi berbagai hewan bentos infauna maupun epifauna.

Kendatipun produktivitas dan keragaman biota di laut lepas relatif rendah, namun beragam kelompok biota hidup di perairan ini. Di sekitar permukaan adalah tempat hidup berbagai jenis plankton. Pada kolom air, dapat ditemui plankton besar seperti ubur-ubur dan berbagai jenis nekton, seperti ikan, mamalia laut, dan reptilia laut, yang sesekali muncul di daerah permukaan laut.

Sebagian besar penghuni kolom air di perairan laut lepas adalah nekton yang mampu melawan arus. Karenanya, mereka umumnya merupakan biota laut bermigrasi, yang menempuh jarak jauh untuk mencari makan ataupun memijah. Pada umumnya mereka bermigrasi secara berkelompok, walaupun ada juga yang bersifat soliter. Biota yang bermigrasi membutuhkan kemampuan berenang secara simultan untuk jangka waktu lama. Karenanya umumnya bentuk tubuh mereka beradaptasi untuk itu, seperti bentuk tubuh yang *streamline* atau memanjang dengan kedua ujung mengecil, untuk mengurangi *drag* atau gesekan air saat berenang (Gambar 69). Bentuk ekor yang seperti busur juga mendukung kebutuhan berenang dengan kecepatan konstan dan arah tertentu.

(A) *Cruising specialist*(B) *Accelerating specialist*(C) *Maneuvering specialist*

Gambar 69. Bentuk tubuh ikan migratori (*cruising specialist*) adalah *streamline* atau memanjang dengan kedua ujung mengecil sebagai bentuk adaptasi untuk mengurangi drag atau gesekan air saat berenang (A. Tuna sirip kuning merah. *Photo credit: hargabinatang.com*). Kendatipun bentuk tubuhnya mirip dengan ikan pemburu (*accelerating specialist*), ikan migratori beradaptasi untuk dapat stabil berenang untuk jangka waktu lama dan jarak yang jauh sedangkan ikan pemburu beradaptasi untuk dapat berenang sangat cepat dalam waktu singkat saat berburu ikan mangsanya (B. Barakuda. *Photo credit: semuaikan.com*). Adapun bentuk ikan manuver lebih lebar dan pendek karena sebagai ikan demersal (*maneuvering specialist*) membutuhkan bentuk tubuh yang mendukung kemampuan berdiam diri atau manuver melewati celah yang sempit (C. *emperor angelfish [Pomacanthus imperator]*. *Photo credit: Rita Rachmawati*).

Ikan terpanjang di laut hidup di perairan laut lepas, yaitu ikan *Regalecus glesne* (oarfish) yang dapat mencapai panjang 8 m (Gambar 70). Dengan tubuhnya yang panjang, ikan ini memiliki adaptasi memotong bagian tubuhnya, misalnya apabila bagian ekornya digigit biota laut lain, maka dapat melepaskan diri dengan memotong bagian yang digigit.

Sebagian besar produk perikanan diperoleh dari wilayah laut lepas, terutama untuk ikan pelagis. Karenanya, ekosistem laut lepas memberikan kontribusi yang besar terhadap perikanan dan ketahanan pangan. Selain itu memancing ikan pelagis besar di laut lepas dapat menjadi hobi.



Gambar 70.
Ikan terpanjang
Regalecus glesne
(oarfish) terdampar di
Pantai Mexico (*Photo*
credit: Katia Cao/
Fishbase)

Selain sektor perikanan, wilayah laut lepas memegang peranan penting dalam bidang perhubungan, sebagai media transportasi laut yang menghubungkan benua satu dengan lainnya. Beberapa cadangan minyak, gas bumi, dan mineral juga ditemukan di wilayah pelagik sehingga banyak dibangun struktur kilang di laut lepas.

Polusi menjadi ancaman utama bagi laut lepas. Sampah dari daratan, pulau-pulau, maupun aktivitas laut sebagian besar akan terbawa ke laut lepas dan tidak akan hilang bahkan terkonsentrasi di pusat *gyre* di tengah laut lepas. Untuk itu, menjadi pekerjaan rumah bagi kita untuk meminimalisir produksi sampah terutama sampah berbahan plastik yang sulit terurai. Kembali, penerapan 3R (*Reduce-Reuse-Recycle*) dalam kehidupan sehari-hari akan sangat berarti bagi kesehatan laut terutama dalam hal ini laut lepas sebagai titik akhir terakumulasinya sampah di laut.

Belum lagi polusi akibat tumpahan minyak dari kecelakaan di tengah laut lepas, seperti tabrakan atau bocornya kapal tanker pembawa minyak, baik minyak mentah maupun minyak produksi. Dinamika oseanografi laut dapat menyebarkan tumpahan minyak ke area yang lebih luas dan memberi dampak negatif bagi lebih banyak biota laut karena secara alami polusi minyak di lautan membutuhkan waktu yang lama untuk netral kembali. Untuk mempercepat proses penguraian komponen senyawa dalam tumpahan minyak telah dan perlu terus dikembangkan metode remediasi dan bioremediasi seperti menggunakan jenis bakteri atau senyawa aktif tertentu.

Dari aspek ekologi dan ekonomi, tangkap lebih (*overfishing*) dan hasil tangkap sampingan (*bycatch*) menjadi faktor utama yang merugikan dalam perikanan laut lepas. Untuk itu perlu adanya regulasi yang ditegakkan berdasarkan analisis dan evaluasi serta solusi yang menguntungkan nelayan atas ditegakkannya regulasi yang membatasi, seperti pembatasan jenis alat tangkap yang merusak atau tidak selektif, pembatasan daerah, waktu, dan kuota, dan pengembangan pengolahan hasil samping yang tidak merusak untuk mendapat nilai tambah.

Dari aspek nasional, *illegal fishing* atau penangkapan ilegal oleh kapal ikan berbendera asing merupakan ancaman yang tidak saja merugikan dari aspek ekologi dan ekonomi tetapi juga kedaulatan negara. Kementerian Kelautan dan Perikanan berperan aktif dalam mengawasi dan menegakkan kedaulatan perikanan nasional dengan kebijakan penenggelaman kapal ilegal. Sejak 2014 sampai dengan pertengahan 2019 lebih dari 500 kapal secara hukum terbukti melanggar kedaulatan wilayah RI dan telah ditenggelamkan.

3.1.7 Laut Dalam

Laut dalam adalah wilayah kolom air di laut dengan kedalaman di bawah *thermocline* yang tidak terpapar atau sangat terbatas mendapat sinar matahari.

Karena kedalaman *thermocline* antar lokasi tidak sama, sulit untuk membuat batasan kedalaman laut dalam berdasarkan metrik. Laut dalam dapat dimulai dari kedalaman 200 m, ada pula yang dimulai di kedalaman lebih dari 1000 m. Adapun batas bawah dari laut dalam adalah dasar laut.

Laut dalam memiliki karakteristik fisik yang sangat unik. Mengikuti hukum fisika, semakin dalam laut semakin tinggi tekanannya (Gambar 71a). Kedalaman laut juga berbanding terbalik dengan ketersediaan cahaya atau kalor dari matahari. Karenanya semakin dalam laut akan semakin gelap dan semakin dingin (Gambar 71b). Selain itu, karena air dingin mengikat gas lebih baik, laut dalam juga kaya akan oksigen, karbon dioksida, dan gas lainnya. Sesuai dengan hukum gravitasi bumi, partikel yang lebih berat akan jatuh ke perairan yang lebih dalam karenanya laut dalam kaya akan nutrisi atau zat hara. Selain itu, nutrisi sampai ke laut dalam dari permukaan laut juga dibawa melalui siklus termohalin (*thermohaline*).

Di sisi lain, karena karakteristik yang sangat khusus, tidak banyak biota yang mampu hidup di perairan yang dapat dibayangkan memiliki karakteristik lingkungan yang ekstrim ini. Untuk dapat bertahan hidup di laut dalam, biota laut dalam membutuhkan adaptasi khusus, utamanya terkait dengan kelangkaan ketersediaan makanan, sulitnya mendapatkan makanan, serta strategi agar tidak dimangsa oleh biota laut dalam lainnya.

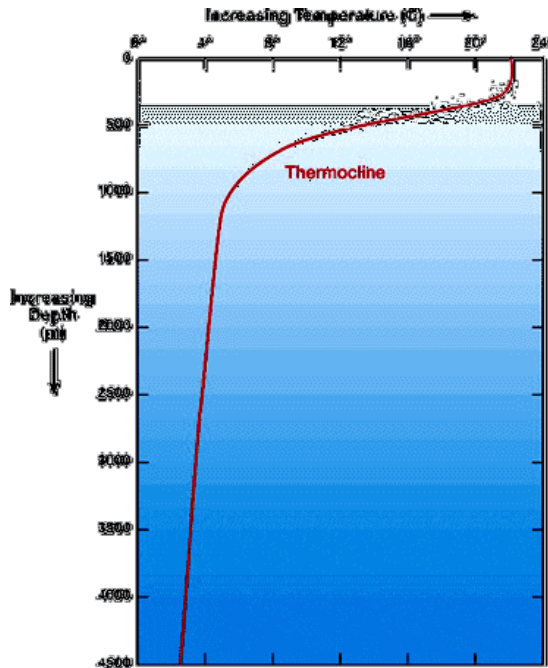
Untuk menghindari pemangsaan, banyak biota laut dalam yang tidak memiliki pigmen warna sehingga tubuhnya transparan, atau berwarna keperakan yang membantu kamuflase di laut dalam. Karena tidak ada cahaya



Gambar 71a.
Ilustrasi tekanan di kedalaman 1.500 m.
(Photo credit: deepseanews.com)

Gambar 71b.

Suhu air laut di sekitar permukaan, terutama di zona fotik (*photic zone*), hangat, kemudian turun drastis di kedalaman termoklin (*thermocline*), dan semakin dingin dengan bertambahnya kedalaman, sebagai fungsi dari penetrasi sinar matahari. (*Photo credit: marinebio.com*)



di laut yang sangat dalam, biota di sana sebagian tidak memiliki mata dan kemampuan untuk melihat. Di sisi lain, sangat minimnya penerangan di laut dalam, membuat sebagian biota laut dalam memiliki mata yang besar untuk memaksimalkan kemampuan melihat di keremangan. Dalam keadaan gelap gulita, sebagian biota laut dalam memiliki kemampuan untuk memancarkan *fluorescence* yang membantu untuk mencari mangsa. Ada juga cahaya tersebut dipancarkan oleh *lure* yang sekaligus berfungsi untuk menarik perhatian biota lain yang berpotensi menjadi mangsa.

Dengan langkanya makanan dan jaranginya bertemu biota lain yang dapat dimangsa, maka setiap kesempatan bertemu calon mangsa harus meningkatkan peluang memangsanya. Seringkali biota yang ditemui dan berpotensi sebagai makan berukuran lebih besar, karenanya sebagian biota laut dalam memiliki kemampuan untuk membuka rahangnya lebar-lebar dan sistem pencernaannya pun dapat memuai sehingga mangsa yang besar dapat masuk dan dicerna, sebagaimana cara makan ular di darat yang memangsa hewan besar. Mereka juga memiliki gigi yang besar dan tajam untuk memastikan mangsa tidak terlepas.

Beberapa nekton laut dalam yang sangat unik dan berbeda dengan nekton di perairan pelagik antara lain *anglerfish*. Ada yang menyebut ikan dari kelompok ini sebagai ikan sungut ganda, namun ada juga yang menyebutnya 'ikan iblis' karena rupanya yang menyerupai monster. Ikan ini dinamakan *anglerfish* atau 'ikan pemancing' karena menggunakan *lure* untuk memancing mangsa mendekatinya untuk memudahkan pemangsaan. Kelompok ikan laut dalam ini terdiri dari setidaknya 200 spesies dengan

ukuran bervariasi mulai kurang dari 30 cm hingga mencapai 1 m. Ikan ini memiliki keunikan tidak hanya dalam cara mencari makan, tetapi juga dalam mencari pasangan dan berkembang biak. *Anglerfish* memiliki cara unik untuk berkembang biak, yaitu dengan sistem parasit karena sulit untuk mendapatkan pasangan. *Anglerfish* betina menghasilkan senyawa feromon yang akan dikenali oleh *anglerfish* jantan. Selain feromon, *anglerfish* betina juga memancarkan *fluorescence* dari antenanya untuk menarik perhatian *anglerfish* jantan. *Anglerfish* jantan yang tertarik dan mendekati *anglerfish* betina kemudian akan menggigit perut si betina hingga akhirnya badannya terperangkap dan melebur dengan tubuh betina. Dengan demikian, *anglerfish* betina akan selalu mendapat suplai sperma dari *anglerfish* jantan yang berada di dalam tubuhnya untuk berkembang biak.

Kendatipun secara umum dasar laut dalam kosong dan jarang dihuni organisme, terdapat setidaknya tiga ekosistem di dasar laut dalam yang produktif, kaya biodiversitas, dengan volume biota yang tinggi. Pertama adalah *hydrothermal vents*, yaitu ekosistem yang terbentuk di sekitar pancaran gas geothermal panas dari dalam perut bumi di sekitar daerah vulkanik aktif atau pertemuan lempeng bumi. *Hydrothermal vents* dapat mencapai suhu hingga 400°C, namun suhu ekstrim tinggi ini tidak menyebabkan air laut di sekitarnya menjadi mendidih karena tekanan air laut dalam yang sangat tinggi.

Titik-titik *hydrothermal vents* umumnya nampak seperti menyemburkan asap hitam sehingga seringkali dinamakan '*black smoke*' atau asap hitam. "Asap hitam" tersebut sesungguhnya adalah cairan panas dari perut bumi yang mengandung besi sulfida. Karena kehidupan di dasar laut dalam adalah tanpa cahaya, kehidupan di sana bukan berdasarkan fotosintesis, yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi, tetapi kemosintesis, yang menggunakan senyawa kimia untuk menghasilkan senyawa organik. Beberapa *hydrothermal vents* terlihat menyembur '*white smoke*' atau asap putih karena mengandung materi mineral lainnya seperti barium, kalsium, dan silikon.

Pada *hydrothermal vents*, senyawa mineral yang tersembur ke laut merupakan makanan utama bagi bakteri dan *archaea* yang berasosiasi dengan beberapa biota unik di ekosistem ini seperti cacing pipa raksasa (*Riftia*), cacing pipa kecil (*Ridgeia*), kepiting salju (*Chionoecetes opilio*), udang *Rimicaris exoculata*, kima *Calyptogena*, kerang *Bathymodiolus*, dan kepiting *Bithogrea*.

Kedua adalah *cold sheeps*, yaitu ekosistem di sekitar celah rembesan massa dari perut bumi yang menjadi dingin ketika bertemu dengan air laut dalam yang dingin. Mineral yang keluar dari celah *cold sheeps* mengandung hidrogen sulfida dan metana. Selain *hydrothermal vents* dan *cold sheeps* yang merupakan ekosistem terkait dengan material dari perut bumi yang muncul di dasar laut, ekosistem ketiga di dasar laut yang kaya biodiversitas namun bersifat sangat sementara adalah *whale falls* atau paus mati di dasar laut

dalam. Walaupun tidak dapat dipastikan di mana terdapat paus mati di dasar laut, namun umumnya mereka ditemukan secara tidak sengaja di sekitar pertemuan lempeng bumi.

Biota yang ditemukan di sekitar *whale falls* berbeda dari waktu ke waktu membentuk empat fase suksesi dengan pola yang serupa. Pada awal keberadaan paus mati di dasar laut, akan ditemui *scavenger*, yaitu biota pemakan hewan mati seperti *ratfish*, *black hagfish* (*Eptatretus deani*), hiu (*sleeper shark*, *Somniosus pacificus*), dan kepiting salju (*Chionoecet* sp.), *sea scuds* (Amfipoda), bintang laut *Ophiurida* sp., *squat lobster* *Munida* sp., dengan laju konsumsi 40-60 kg daging per tahun (Smith *et al.*, 2002) yang membutuhkan waktu hingga 2 tahun untuk menghabiskan seluruh daging paus yang mati. Selanjutnya, setelah setahun mulai muncul kelompok oportunistik berupa invertebrata, seperti cacing polikaeta *Vigtorniella* spp. yang muncul dalam kelimpahan tinggi hingga 45.000 individu/meter (Smith, 2002), yang mengkonsumsi sisa materi organik.

Pada fase ketiga, bakteri pereduksi sulfat akan menggunakan sisa lemak dan minyak pada tulang belulang paus untuk menghasilkan hidrogen sulfida yang selanjutnya dikonsumsi oleh mikroorganisme pecinta sulfur (sulphophilic), seperti bakteri *Beggiatoa* sp. dan cacing polikaeta *Bathypurila guaymasensis*. Apabila pada fase kedua hanya ditemukan beberapa jenis biota, pada fase ke-3 ini jenis organisme yang ditemukan di habitat ini sangat beragam mencapai 190 jenis. Pada akhirnya muncul komunitas yang membersihkan materi mikro yang tersisa. Total, paus mati di dasar laut dapat memberi makan berbagai macam biota hingga 50-75 tahun yang biomasnya setara dengan kumpulan *marine snow* selama ribuan tahun.

Eksplorasi Laut Dalam di Indonesia

Laut dalam di Indonesia dapat mencapai kedalaman ribuan meter lebih banyak terdapat di bagian timur Indonesia (Paparan Sahul). Belum semua perairan laut dalam ini mendapat perhatian penelitian yang memadai. Banyak yang masih menyimpan misteri yang belum terungkap. Kendala utamanya, karena untuk melaksanakan penelitian laut dalam diperlukan dukungan sarana dan prasarana penelitian yang canggih dan mahal serta tenaga ahli yang mendukung. Sehingga, Indonesia harus menjalin berbagai kerjasama penelitian laut dengan mitra dari manca negara untuk mengungkapkan berbagai hal berkenaan dengan kondisi lingkungan laut dalam di Indonesia.

Salah satu kerjasama untuk mengeksplorasi laut dalam adalah ekspedisi INDEX SATAL 2010 (Indonesia Expedition Sangihe Talaud 2010). Ekspedisi dengan teknologi eksplorasi laut dalam pertama di Indonesia ini mengambil lokasi di perairan sangihe talaud, Sulawesi Utara. Dalam ekspedisi ini, Indonesia bekerjasama dengan NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) - Amerika Serikat untuk mengkaji berbagai aspek laut dalam di Laut Sulawesi, khususnya di perairan sekitar Kepulauan



Sangihe Talaud. Pihak Amerika Serikat melibatkan 1 kapal riset Okeanos Explorer dan pihak Indonesia melibatkan kapal riset Baruna Jaya IV yang dioperasikan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

Eksplorasi laut dalam terbilang mahal karena teknologi yang digunakan, seperti pemetaan topografi dasar laut dengan menggunakan *multi-beam echosounder* yang dapat menghasilkan citra tiga dimensi formasi dasar laut, ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*) Little Hercules, robot yang dapat merekam gambar/video laut dalam dengan resolusi tinggi, yang pengoperasiannya dikendalikan dari kapal di permukaan laut. Teknologi ini baru pertama kali digunakan dalam ekspedisi laut di Indonesia. Fenomena bawah laut juga menjadi hal menarik selama eksplorasi laut dalam. Hanya saja teknologi dan biaya juga merupakan tantangan tersendiri untuk eksplorasi laut dalam sehingga belum banyak ekspedisi serupa dilakukan di Indonesia.

Tak kalah menariknya adalah kekayaan biota laut yang terdapat di perairan laut dalam, terutama di sekitar rekahan hidrotermal. Laut dalam sejatinya berada dalam kondisi gelap-gulita secara permanen, karena cahaya matahari yang menjadi energi dalam fotosintesis hanya dapat menembus

Gambar 72.
a) Kapal riset Okeanos Explorer dioperasikan National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) – Amerika Serikat . b) Kapal riset Baruna Jaya IV dioperasikan oleh Badan Penelitian dan Penerapan Teknologi-Indonesia. c) ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*) bernama *Little Hercules*. d) Lokasi Ekspedisi Index Satal 2010 di Perairan Sangihe Talaud (Laut Sulawesi). (Photo credit: oseanografi.lipi.go.id)

Gambar 73.
Ikan misterius dari
dasar laut-dalam
di dasar laut Kawio
Barat, Sangihe
Talaud. (Photo
credit: [http://
oceanexplorer.noaa.
gov/oceanos](http://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos))



Gambar 74.
Beberapa contoh
keanekaragaman
hayati di Perairan
Kawio Barat hasil
Ekspedisi Index Satal
2010. (Photo credit:
[http://oceanexplorer.
noaa.gov/oceanos](http://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos))



sampai beberapa ratus meter teratas saja. Sumber energi yang menghidupi biota laut-dalam di sekitar rekahan hidrotermal yang panas itu bukan berasal dari produk fotosintesis tetapi bermula dari proses kemosintesis yang dimediasi oleh bakteri. Dari pengamatan Ekspedisi Index Satal 2010 ditemukan biota yang beragam di laut-dalam kawasan Gunung Api Kawio Barat. Banyak diantaranya merupakan temuan baru bagi sains (Nontji, 2018).

Rata rata kedalaman laut di Indonesia mencapai 200 meter. Namun, terdapat pula beberapa cekungan (lubuk) dan palung laut yang dalam. Laut Indonesia juga memiliki beberapa gunung berapi yang masih aktif di dalamnya. Salah satu penjelajahan terhadap sistem cekungan yang kompleks ini adalah Ekspedisi Snellius oleh pemerintah kolonial Belanda pada 1929-1930. penjelajahan ini menemukan adanya 27 lubuk dan palung dalam. Palung paling dalam ditemukan di wilayah Banda mencapai 7,4 km.

3.2 Kawasan Pesisir, Pulau-Pulau Kecil, dan Bioregion

3.2.1 Pesisir dan Pulau-pulau Kecil

Jika merujuk pada Undang—undang Nomor 27 tahun 2007, Kawasan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (disingkat KP3K) adalah bagian wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil yang memiliki fungsi tertentu yang ditetapkan berdasarkan kriteria karakteristik fisik, biologi, sosial, dan ekonomi untuk dipertahankan keberadaannya. Pulau-pulau kecil didefinisikan berdasarkan dua karakteristik utama, yaitu luasan pulau dan jumlah penduduk. Definisi yang dianut secara nasional sesuai dengan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 41/2000 Jo Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 67/2002, pulau-pulau kecil adalah pulau yang berukuran kurang atau sama dengan 10.000 km², dengan jumlah penduduk kurang atau sama dengan 200.000 jiwa.

Di samping karakteristik utama tersebut, beberapa karakteristik pulau-pulau kecil secara ekologis terpisah dari pulau induknya (*mainland island*), memiliki batas fisik yang jelas dan terpencil dari habitat pulau induk, sehingga bersifat insular; mempunyai sejumlah spesies endemik dan keanekaragaman yang tipikal dan bernilai tinggi; tidak mampu mempengaruhi hidroklimat; memiliki daerah tangkapan air (*catchment area*) yang relatif kecil sehingga sebagian besar aliran air permukaan dan sedimen masuk ke laut serta dari segi sosial, ekonomi dan budaya masyarakat pulau-pulau kecil bersifat khas dibandingkan dengan pulau induknya.

Berdasarkan tipenya, pulau-pulau kecil dibedakan menjadi pulau benua, pulau vulkanik dan pulau karang. Masing-masing tipe pulau tersebut memiliki kondisi lingkungan biofisik yang khas, sehingga perlu menjadi pertimbangan dalam kajian dan penentuan pengelolaannya agar berkelanjutan. Hal ini akan berpengaruh pula terhadap pola permukiman yang berkembang di pulau-pulau kecil berdasarkan aktivitas yang sesuai dengan kondisi lingkungan biofisik tersebut. Misalnya tipologi pulau kecil lebih dominan ke arah pengembangan budidaya perikanan, maka kemungkinan besar pola permukiman yang berkembang adalah masyarakat nelayan.

Peran Penting dan Nilai Strategis Pulau-pulau Kecil

Kawasan P3K memiliki potensi sumberdaya alam dan jasa lingkungan yang dapat dijadikan sebagai modal dasar pelaksanaan pembangunan. Selain itu kawasan ini menyediakan sumberdaya alam yang produktif seperti terumbu karang, padang lamun (*seagrass*), hutan mangrove, perikanan, dan kawasan konservasi.

Dari sudut pertahanan dan keamanan, kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil terutama di perbatasan memiliki arti penting sebagai pintu gerbang keluar masuknya aliran orang dan barang misalnya di Sabang, Sebatik, Batam, dan Raja Ampat yang juga rawan terhadap penyelundupan barang-barang ilegal, narkoba, senjata, dan obat-obatan terlarang. Sebanyak 92 buah pulau kecil terletak berbatasan langsung dengan negara lain yang berarti bahwa pulau-pulau kecil tersebut memiliki arti penting sebagai garda depan dalam menjaga dan melindungi keutuhan NKRI.

Wilayah pulau-pulau kecil memiliki peluang yang besar untuk dikembangkan sebagai wilayah usaha potensial yang berbasis pada sumberdaya (*resource-based industry*) seperti industri perikanan, pariwisata, jasa transportasi, industri olahan, dan industri-industri lainnya yang ramah lingkungan. Di samping itu, pulau-pulau kecil juga dapat dimanfaatkan dan dikembangkan sebagai pendukung pertumbuhan wilayah.

Secara ekologis, ekosistem pesisir dan laut pulau-pulau kecil berfungsi sebagai pengatur iklim global, siklus hidrologi dan biogeokimia, penyerap limbah, sumber plasma nutfah, sumber energi alternatif, dan sistem penunjang kehidupan lainnya. Hal ini terkait erat dengan potensi/karakteristik penting pesisir dan pulau-pulau kecil, yang merupakan habitat dan ekosistem (terumbu karang, lamun, mangrove) yang menyediakan barang (ikan, minyak, mineral logam) dan jasa lingkungan (penahan ombak, wisata bahari) bagi masyarakat.

Pengelolaan Kawasan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil

Berbagai inisiatif pengelolaan pesisir dan pulau-pulau kecil dapat dilihat dalam kaitan dengan pemenuhan kebutuhan hidup manusia dan kepentingan pembangunan ekonomi serta geopolitik nasional secara lebih luas yang memenuhi prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Prinsip-prinsip pengelolaan pulau-pulau kecil yang harus dilakukan oleh pemerintah pusat, pemerintah provinsi, pemerintah kabupaten/kota, dan juga dunia usaha/swasta antara lain harus mempertahankan eksistensi pulau kecil sesuai dengan karakteristik dan fungsi yang dimilikinya, efisien dan optimal secara ekonomi (*economically sound*), berkeadilan dan dapat diterima secara sosial-budaya (*acceptable socio-culturally*), dan secara ekologis tidak melampaui daya dukung lingkungan (*environmental carrying capacity*).

Mengacu pada kebijakan yang telah ditetapkan, maka pengelolaan KP3K dapat ditempuh dengan implementasi strategi umum yang meliputi

(1). Perwujudan harmoni aspek politik, ekonomi, sosial, budaya, pertahanan – keamanan dan kelembagaan; (2). Penataan dan penguatan kelembagaan pemerintah pusat, daerah, masyarakat, dan dunia usaha; (3). Penyusunan basis data dan penataan ruang (laut, pesisir dan pulau-pulau kecil); (4). Pengembangan dan penataan sarana dan prasarana dengan memperhatikan daya dukung lingkungan; (5). Penyusunan rencana pengelolaan pesisir dan pulau-pulau kecil berbasis masyarakat dan sumber daya lokal dengan memperhatikan hukum adat/kearifan lokal; (6). Pembinaan wilayah dan peningkatan kualitas SDM untuk kepentingan pertahanan negara secara terpadu; (7). Peningkatan partisipasi dan akses masyarakat terhadap informasi modal, pemasaran dan teknologi; (8). Perwujudan peluang dan iklim usaha yang kondusif bagi investasi; (9). Pelaksanaan inventarisasi, kajian, pengelolaan dan pengembangan kawasan konservasi; dan (10). Penyediaan perangkat hukum yang memadai dengan penegakkan hukum memperhatikan hukum adat dan hukum ulayat.

Sebagian besar kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia merupakan kawasan tertinggal yang dapat diidentifikasi berdasarkan faktor-faktor geografis, ketersediaan sumber daya alam dan keterbatasan sumberdaya manusia baik jumlah maupun kualitasnya. Sebagai penjabaran dari kebijakan pengelolaan pulau-pulau kecil pada beberapa kawasan tertentu maka dilaksanakan strategi khusus yang bervariasi berdasarkan pada tipologi, pembentukan dan pengelolaan pulau-pulau kecil yaitu : (1) Kawasan pengembangan ekonomi; (2) Kawasan perbatasan; (3) Kawasan rawan bencana; dan (4) Kawasan konservasi.

Pengelolaan kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil membutuhkan kebijakan yang komprehensif, integral, dan tepat, sesuai dengan keberadaannya sebagai kawasan yang memiliki permasalahan, potensi, dan karakteristik yang khas. Kebijakan tersebut tentunya harus didukung dengan pemahaman yang utuh terhadap konsepsi kebijakan, program, strategi yang sinergis, koordinasi yang efektif dan sistem informasi yang terpadu dari berbagai pihak/pelaku program pengelolaan kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil.

Untuk merespon persoalan dan kebutuhan tersebut, diperlukan upaya peningkatan kapasitas (*capacity building*) berbagai pihak yang terkait dengan program pengelolaan kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil. Dengan *capacity building* ini, diharapkan dapat dihindari terjadinya bias, baik dalam pemahaman terhadap kebijakan dan strategi maupun dalam penyusunan program yang didukung antara lain oleh suatu piranti kelembagaan (*institutional arrangement*) yang mencakup struktur organisasi pemerintah dan non pemerintah termasuk mekanisme untuk menjembatani antar organisasi dan instansi yang bertanggung jawab; kumpulan hukum, aturan, konvensi, keputusan dan standar mutu; dan kumpulan norma sosial dan tradisi seperti hukum adat dan hak ulayat.

3.2.2 Ekoregion

Ekozona atau *ecozone* adalah level pembagian biogeografi permukaan bumi berdasarkan pola distribusi organisme terestrial (flora dan fauna) dan karakteristik habitatnya. Ekozona atau disebut pula *Biogeographic realm* membagi planet bumi ke dalam 8 (delapan) ekozona yaitu *Palaearctic*, *Nearctic*, *Afrotropic*, *Neotropic*, *Australasia*, *Indo-Malaya*, *Oceania*, dan *Antartic*. Pada konteks ini, Indonesia dapat dibagi menjadi 2 ekozona yaitu *Australasia* dan *Indo-Malaya*.

Selain ekozona tersebut, dikenal pula bahwa zona transisi dapat dilihat pada porsi wilayah:

1. Zona transisi Meksiko (*Nearctic–Neotropical transition*)
2. Zona Sahara-Arabia (*Palaearctic–Ethiopian transition*)
3. Zona Cina (*Palaearctic–Oriental transition zone transition*)
4. Indo-Malaya atau Zona Wallacea (*Oriental–Australian transition*)
5. Zona Amerika selatan (*Neotropical–Andean transition*)

Level bioregion merupakan pembagian biogeografi yang lebih kecil luasannya dari pada ekozona. Kepulauan Nusantara terbagi dalam 3 bioregion, yaitu *Sundaland*, *Wallacea* dan *New Guinea (Sahul)* (Vilhena dan Antonelli, 2015). Bioregion *Sundaland* atau Tanah Sunda adalah bentang daratan lempeng benua dan landas kontinen di Asia Tenggara yang merupakan dataran luas pada bagian barat Indonesia. Tanah Sunda meliputi Semenanjung Malaya, Kepulauan Sunda Besar termasuk Kalimantan, Sumatra, dan Jawa, serta kawasan laut dangkal di sekitarnya, yaitu Laut Jawa, Selat Malaka, Selat Karimata, Teluk Siam, dan bagian selatan Laut Cina Selatan.

Daratan dan sungai-sungai kuno *Molengraaf* di Tanah Sunda menjadi hilang akibat naiknya permukaan laut pada era pleistosen (18.000-20.000 tahun lalu). Bioregion *Wallacea* adalah daratan transisi yang meliputi daratan pulau Sulawesi dan kepulauan sekitarnya yang secara histori-geologis tidak pernah bersatu dengan Benua Asia, namun posisinya saat ini sangat dipengaruhi histori dorongan pergeseran Benua Australia ke bagian utara. Karakteristik flora di *Wallacea* umumnya berasal dan berkerabat dekat flora asal Ekozona Indo-Malaya dan Australia. Namun beberapa grup spesies seperti reptilia dan burung umumnya berkerabat dekat dengan fauna asal Australia. Terakhir, Bioregion *New Guinea (Sahul)* meliputi daratan pulau Nugini dan deretan kepulauan terdekatnya. Karakteristik flora dan fauna Sahul berasal dan berkerabat dekat dengan organisme asal Australia.

Level ekoregion merupakan pembagian biogeografi yang lebih kecil lagi luasannya dari pada bioregion dan terbagi menjadi daratan dan lautan. Briggs (1995) dan Morrone (2009) mengklasifikasi biogeografi lautan di dunia menjadi 23 *Marine Biogeographic Realm*, meliputi *Indo-West Pacific*, *Eastern Pacific*, *Western Atlantic*, *Eastern Atlantic*, *Southern Australian*, *Northern New Zealand*, *Western*

South America, Eastern South America, Southern Africa, Mediterranean–Atlantic, Carolina, California, Japan, Tasmanian, Southern New Zealand, Antipodean, Subantarctic, Magellan, Eastern Pacific Boreal, Western Atlantic Boreal, Eastern Atlantic Boreal, Antarctic, dan Arctic region. Meskipun demikian, seiring dengan kemajuan metodologi pengkajian, Spalding *et al.*, (2007) telah mengkaji ulang *Marine Biogeographic Realm* dan menyederhanakannya menjadi hanya 12 divisi yaitu *Arctic realm, Temperate Northern Atlantic, Temperate Northern Pacific, Tropical Atlantic, Western Indo-Pacific, Central Indo-Pacific, Eastern Indo-Pacific, Tropical Eastern Pacific, Temperate South America, Temperate Southern Africa, Temperate Australasia* dan *Southern Ocean realm*.

Menurut Undang-Undang Nomor 32 tahun 2009, ekoregion adalah wilayah geografis yang memiliki kesamaan ciri iklim, tanah, air, flora dan fauna asli, serta pola interaksi manusia dengan alam yang menggambarkan integritas sistem alam dan lingkungan hidup. Sementara ekoregion laut adalah wilayah perairan laut dengan komposisi spesies yang relatif homogen, dan menunjukkan perbedaan unik dan signifikan dengan wilayah terdekatnya (Spalding *et al.*, 2007). Pada konteks lautan, entitas ekoregion berbeda satu sama lain atas dasar tingkat keterisolasian, *upwelling*, masukan nutrisi, pengaruh air tawar, rezim suhu, morfostruktur, sedimen, arus dan kompleksitas batimetri.

Khusus ekoregion laut Indonesia, KLH (2013) mengklasifikasikannya menjadi 18 bagian yang didasarkan pada 4 parameter:

1. Morfologi dasar laut: geomorfologi dan batimetri
2. Oseanografi: arus laut, pasang surut, *upwelling*, suhu, salinitas, pH dan klorofil
3. Keanekaragaman hayati laut: mangrove, lamun, terumbu karang dan ikan
4. Batas: NKRI, ekoregion laut dunia, Wilayah Pengelolaan Perikanan dan Toponimi laut.

Ekoregion laut Indonesia dideliniasi mulai dari bagian barat pulau Sumatra hingga Pulau Nugini (bagian Indonesia), dapat disajikan sebagai berikut (KLH, 2013):

A. Samudra Hindia Barat Sumatra

Karakteristik utama Ekoregion Laut 1 (Samudra Hindia Barat Sumatra) memiliki tingkat keragaman habitat pesisir dan laut yang tinggi. Wilayah ini secara khusus juga diduga memiliki hubungan yang kuat dengan Kepulauan Nicobar dan Andaman. Selain itu, beberapa jenis karang Samudra Pasifik tercatat berasal dari kawasan Phuket di Thailand dan tidak ditemukan di tempat lain selain di Samudra Hindia.

Ekosistem padang lamun ekoregion ini tidak terlalu luas karena bentuk pantai yang curam dan pengaruh gelombang laut samudra yang besar.

Beberapa spesies yang telah diidentifikasi di ekoregion ini meliputi *Cyrtodocea serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Halophila ovalis*, *Halodule pinifolia*, *Halodule uninervis*, dan *Thalassia hemprichii*. Keragaman karang di ekoregion ini mencapai 387 spesies, di mana 2 spesies di antaranya bersifat endemik.

Berdasarkan data IUCN *Redlist*, ekoregion ini memiliki beberapa jenis organisme dengan status langka dan terancam punah seperti *Megamouth shark* atau Hiu Mulut Lebar (*Megachasma pelagios*) yang berstatus langka, Dugong atau Duyung (*Dugong dugon*) berstatus rentan, *green turtle* atau Penyu Hijau (*Chelonia mydas*) berstatus genting. Sedangkan biota yang masuk daftar CITES-Appendix I terdiri atas Penyu Belimbing (*Dermochelys coriacea*) dan Penyu Sisik (*Eretmochelys imbricate*) berstatus kritis, serta Buaya muara (*Crocodylus porosus*) berstatus rentan.

Atas dasar tingginya keanekaragaman dan keunikannya, kawasan ini merupakan kawasan yang perlu dipertimbangkan untuk upaya konservasi. Sumberdaya laut dalam di Samudra Hindia yang terletak di bagian Barat Sumatra dan Selatan Jawa tercatat sebanyak 599 spesies (415 spesies ikan, 68 udang/kepiting, dan 46 spesies cumi-cumi). Kawasan konservasi yang berada dalam ekoregion ini meliputi area seluas 1.348.269,89 ha yang terdiri dari kawasan konservasi laut Taman Wisata Alam Laut (TWAL) dan Kawasan Konservasi Perairan Daerah (KKPD).

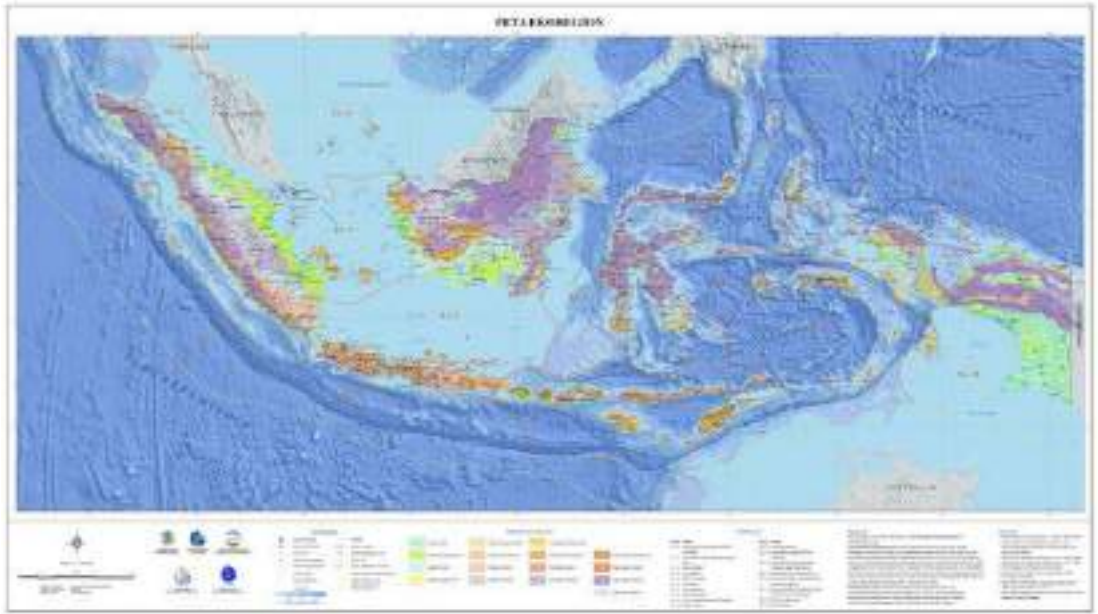
B. Samudra Hindia-Selatan Jawa

Karakteristik utama ekoregion Laut 2 (Samudra Hindia-Selatan Jawa) ditandai dengan tingginya keanekaragaman hayati ikan endemik yang telah beradaptasi dengan kondisi geografi yang khas. Pantai Selatan Jawa merupakan tempat peneluran 4 spesies penyu dari 6 spesies yang ditemukan di Indonesia. Perairan di Selat Bali juga merupakan habitat ikan pelagis ekonomis penting untuk perikanan lemuru (*Sardinella lemuru*) yang terproduktif di Indonesia.

Ekoregion laut 2 memiliki potensi perikanan laut dalam dan sumberdaya terbaru non ikan seperti pelagis besar, diantaranya tuna mata besar (*Thunnus obesus*), tuna sirip biru (*Thunnus maccoyii*), dan pelagis kecil seperti Lemuru (*Sardinella lemuru*), demersal seperti ikan kerapu merah (*Lutjanus malabaricus*) dan *L. erythropterus*, udang penaeid, ikan karang, lobster, dan cumi-cumi.

Komunitas karang di sebagian besar pantai di Selatan Jawa dan Sumatra mengalami hambatan pertumbuhan. Beberapa lokasi terdapat terumbu karang dengan tutupan rendah, meskipun jauh dari pemukiman penduduk. Komunitas ikan karang di perairan Pulau Enggano menunjukkan bahwa keragaman ikan indikator mencapai 30 spesies. Tiga spesies teridentifikasi sebagai spesies endemik yaitu *Chaetodon guttatissimus*, *C. triangulum*, dan *C. falcula*.

Pada ekoregion ini terdapat jenis tipe kawasan konservasi, yaitu Cagar Alam Laut (CAL), Kawasan Konservasi Perairan Daerah (KKPD), dan Suaka Margasatwa Laut (SML).



C. Selat Malaka

Ekoregion Laut 3 (Selat Malaka) dikenal sebagai koridor konektivitas ekosistem dari Laut Andaman ke Laut Natuna/Laut Cina Selatan. Di pantai timur dan utara pulau Bintan ditemukan padang lamun yang seluas 2.6000 ha dengan kerapatan dan keragaman spesies yang tinggi. Dari 13 spesies lamun di Indonesia, 10 spesies ditemukan di pesisir timur Pulau Bintan.

Padang lamun di Bintan ini, terutama di Desa Berakit dan Pengudang juga menjadi habitat duyung (*Dugong dugon*). Sedangkan terumbu karang memiliki keragaman jenis yang relatif rendah, kecuali di beberapa lokasi seperti Batam, Bintan, Senayang, dan Lingga. Persentase tutupan karang di Batam mencapai 60 persen, Bintan 55 persen, dan Senayang Lingga 62 persen. Selat Malaka juga merupakan jalur migrasi penting bagi penyu sisik dan penyu hijau.

D. Laut Natuna

Karakteristik utama keanekaragaman hayati Ekoregion Laut 4 (Laut Natuna) banyak ditutupi oleh ekosistem terumbu karang. Selain terumbu karang, ditemukan pula ekosistem mangrove, padang lamun, dan sejumlah biota laut penting seperti ikan Napoleon dan penyu.

Di Kepulauan Natuna-Anambas, ditemukan tiga spesies lamun (Seagrass) yang termasuk dalam dua famili yaitu *Hydrocharitaceae* dan *Potamogetonaceae*. Ketiga spesies tersebut adalah *Halophila ovalis*, *Halodule pinifolia*, dan *Halodule uninervis*. Selain itu, daerah ini juga menjadi rumah

Gambar 75.
Peta Ekoregion Laut Indonesia yang membagi perairan Indonesia menjadi 18 kawasan, mulai dari Barat Sumatra hingga Utara Papua (Photo credit: Pusriskel, KKP)

bagi 74 spesies rumput laut (*macrophyte*), yang terdiri dari 23 spesies alga merah (*Rhodophyceae*), 22 spesies alga coklat (*Phaeophyceae*) dan 29 spesies dari alga hijau (*Chlorophyceae*).

Tipe terumbu karang yang banyak ditemui pada kawasan ini adalah terumbu karang tepi (*fringing reef*), serta sedikit penghalang (*barrier reef*) dan karang atol (*atoll*). Pada ekoregion ini ditemukan dominansi terumbu karang pantai karena wilayah ini terdiri dari pulau-pulau kecil yang tidak memiliki sungai. Luas tutupan karang berkisar antara 25-85 persen dan rata-rata mencapai 40-65 persen. Kajian cepat kondisi kelautan di perairan Anambas tahun 2012 mencatat diversitas karang keras sejumlah 339 spesies, dan 667 spesies ikan karang (*reef fishes*).

Di kawasan ini juga ditemukan 2 jenis penyu, yakni penyu hijau (*Chelonia mydas*) dan penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*). Ikan Napoleon (*Cheilinus undulates*) mudah ditemukan di ekoregion ini mengingat biota ini banyak budidayakan nelayan melalui pembesaran dalam keramba jaring apung. Selain itu, di perairan Natuna, ditemukan ikan pari listrik dari jenis *Temera hardwickii* dan ikan pari mangrove *Himantura granulata*.

E. Selat Karimata

Karakteristik utama dari ekoregion Selat Karimata adalah sebaran ekosistem mangrove yang besar di pesisir Sumatra Selatan dan pesisir Kalimantan Barat. Di kawasan ini ditemukan 17 spesies mangrove sejati. Hutan mangrove dalam ekoregion ini merupakan habitat burung air, burung migran dan reptilia payau.

Perairan di sekitar Pulau Karimata cukup jernih. Hal ini memungkinkan terumbu karang berkembang baik dengan luas tutupan karang berkisar antara 31,28-76,2 persen yang didominasi oleh koloni *Acropora hyacinthus*, *Diploastrea heliopora*, dan *Sarcophyton* spp. Pesisir pulau Tambalen juga merupakan salah satu lokasi peneluran Penyu Sisik yang terbesar di Indonesia.

Terdapat dua jenis kawasan konservasi di Ekoregion ini, yaitu KKPD Bengkayang, Kalimantan Barat dan KKPD Kabupaten Bintan & Senayang Lingga, Kepulauan Riau dan CAL di kepulauan Karimata dan Kalimantan Barat.

F. Laut Jawa

Karakteristik utama ekoregion Laut Jawa adalah kondisi habitat mangrove, lamun, dan karang yang telah mengalami banyak kerusakan. Ekosistem mangrove yang kondisinya masih terlihat baik terdapat di pesisir pantai Kalimantan Selatan. Padang Lamun di wilayah Ekoregion ini telah banyak mengalami kerusakan, sebagai contoh di Teluk Banten dan Pulau Pari di Kepulauan Seribu. Salah satu spesies lamun (*Syringodium isoetifolium*) di padang lamun Teluk Banten ini dipanen untuk dijadikan sebagai makanan duyung yang dipelihara di penangkaran Sea World Indonesia.

Secara umum tingkat keanekaragaman hayati dan endemisitas tergolong rendah. Spesies langka ikan hiu air tawar, *Gliphis* sp., dapat ditemukan di muara sungai Sampit, Kalimantan Selatan. Sedangkan Dugong masih dapat dijumpai di Selat Sunda dan sekitarnya. Pada Ekoregion Laut 6 terdapat lima tipe kawasan konservasi, yaitu Taman Nasional Laut (TNL), KKPD, CAL, TWAL, Suaka Margasatwa Laut (SML).

G. Laut Sulawesi

Karakteristik utama ekoregion Laut Sulawesi adalah keanekaragaman hayati laut yang tinggi. Ekoregion ini merupakan bagian dari Sulu Sulawesi *Marine Ecoregion*, mencakup perairan Kepulauan Derawan di bagian barat sampai dengan Sanger Talaud dan Taman Nasional Bunaken di bagian timur.

Ditemukan 26 spesies mangrove di Kabupaten Berau. Di Sulawesi Utara ditemukan 17 spesies mangrove dari 9 famili. Komunitas karang di ekoregion ini memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi dengan berbagai tipe baik pada kondisi lereng yang landai maupun terjal seperti dinding. Terumbu karang terdapat di Taman Nasional Bunaken (380 spesies) dan Kepulauan Derawan. Survei ikan karang pada Kepulauan Derawan menemukan 872 spesies yang terbagi ke dalam 272 genus dan 71 famili.

Ekoregion Laut Sulawesi kaya dengan jenis organisme langka dan habitat unik seperti pesut Irrawaddy, paus sperma, paus pilot, dan ikan Coelacanth (*Latimeria menadoensis*). Di ekoregion ini, terdapat empat kawasan konservasi antara lain KKPD Berau, TWAL Pulau Sangalaki, dan SML Pulau Semama di Kalimantan Timur serta TNL Bunaken di Sulawesi Utara.

H. Selat Makassar

Karakteristik utama Ekoregion Laut Selat Malaka adalah sebagai koridor penyebaran larva dan juga jalur migrasi mamalia laut yang melalui Arlindo dari Filipina ke selatan menuju Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Ekoregion ini merupakan lokasi memijah bagi ikan terbang.

Padang lamun di Kepulauan Spermonde terdiri dari 8 spesies, yaitu *Cymodocea rotundata*, *C. serrulata*, *Enhalus acoroides*, *Halophila ovalis*, *Halodule pinifolia*, *H. uninervis*, *Syringodium isoetifolium* dan *Thalassia hemprichii*, dan *Halophila sulawesii*.

Terumbu karang dapat ditemukan di kawasan kepulauan Spermonde dan pulau-pulau kecilnya. Rekrutmen lokal ikan nemo (*Amphiprion ocellaris*) di terumbu karang Pulau Barranglompo dan Pulau Samalona sebesar 40-60 persen. Di Ekoregion ini ditemukan perikanan ikan terbang dengan teknik penangkapan ala nelayan Torani yang memanfaatkan pelepah daun kelapa untuk mendapatkan telur-telurnya.

I. Perairan Bali dan Nusa Tenggara

Karakter utama keanekaragaman hayati ekoregion Laut Perairan Bali dan Nusa Tenggara adalah terumbu karang yang umumnya mengelilingi pulau-pulau di kawasan ini. Selain itu ekoregion ini merupakan koridor migrasi dan habitat ikan paus. Hutan mangrove di kawasan ini tidak terlalu luas. Informasi keberadaan padang lamun cukup minim. Berdasarkan pemantauan kondisi lamun di 4 lokasi Taman Nasional Komodo, lamun di lokasi ini didominasi oleh jenis *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*.

Ekoregion ini mempunyai terumbu karang yang cukup baik kondisinya dengan keanekaragaman karang jamur (fungiid) yang tinggi. Spesies karang *Acropora suharsonoi* dan *A. palmerae* diperkirakan menjadi spesies endemik di perairan ini dan perairan selatan Indonesia. Secara keseluruhan, di kawasan ini ditemukan 406 spesies karang keras yang terdiri dari 54 genera.

Di area ini pula, diversitas ikan karang terdokumentasi sebanyak 977 spesies, terdiri dari 320 genus dan 88 famili. Jenis ikan karang yang paling sering ditemui di karang Bali adalah ikan kakatua (*Labridae*), betook (*Pomacentridae*), betutu (*Gobiidae*), Capungan (*Apogonidae*), kerapu (*Serranidae*), ikan kepe-kepe (*Chaetodontidae*), dan butane (*Acanthuridae*). Dugong juga dapat ditemukan di kawasan ini terutama di Pulau Rote.

J. Teluk Tomini

Karakteristik utama Ekoregion Laut Teluk Tomini adalah tingginya keragaman dan tingkat keendemikan yang signifikan karena keterisolasian yang cukup lama. Kondisi ekosistem mangrove di Kawasan Teluk Tomini Kabupaten Bolang Mongondow, misalnya, masih dalam kondisi yang sangat baik. Komunitas lamun juga cukup luas dengan kondisi bervariasi mulai kurang hingga baik. Jumlah jenis lamun yang ditemukan berkisar antara 5-6 spesies.

Kondisi terumbu karang di kawasan Teluk Tomini Sulawesi Utara, daerah kabupaten Bolaang Mongondow dalam kondisi “miskin-cukup” didominasi oleh jenis karang batu *Montipora*, *Acropora*, dan *Diplostrea*. Keragaman larva ikan sidat (*Anguillidae*) juga cukup tinggi dan termasuk yang tertinggi di samping laut Sulawesi. Terdapat dua kawasan konservasi di Ekoregion Laut Teluk Tomini, yaitu KKPD Desa Olele, Gorontalo dan Taman Nasional Laut Kepulauan Togean, Sulawesi Tengah.

K. Laut Halmahera

Karakter utama keanekaragaman hayati Ekoregion laut Laut Halmahera adalah terumbu karang dengan jumlah spesies yang tergolong cukup tinggi di Indonesia. Beberapa jenis karang yang besar dapat ditemukan di kawasan ini terutama *Pavona clavus* dan *Gardineroseris planulata* dari famili Agariciidae. Terdapat 468 (544) spesies karang keras yang terdiri dari 15 famili dan 54 genera. Hampir semua spesies karang di Bentang Laut Kepala Burung Papua terdapat di kawasan ini kecuali empat spesies.

Diversitas ikan karang di Halmahera utara dan Morotai sebanyak 991 spesies, terdiri dari 77 famili dan 288 genera. Ikan dominan terdiri dari 3 famili yaitu *Gobiidae*, *Pomacentridae*, dan *Labridae*. Kawasan penting lain di ekoregion ini adalah Selat Lembeh yang dikenal sebagai habitat unik yang memiliki spesies langka seperti salah satu kuda laut terkecil di dunia, *Pigmy Seahorse*.

L. Laut Banda Sebelah Timur Sulawesi

Karakteristik utama ekoregion Laut Banda sebelah timur Sulawesi adalah bentuk pantai yang kompleks dari Kepulauan Banggai, mempunyai gugusan karang yang luas yang disebut karang merpati. Wilayah ini memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Habitat mangrove dapat dijumpai di pesisir barat dan selatan Pulau Talibu, namun ekosistem mangrove hanya terbatas di beberapa daerah bagian timur daratan Sulawesi.

Beberapa jenis lamun di perairan pantai Kabupaten Banggai Kepulauan yang dominan antara lain *Thalassia hemprichi*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea rotundata*, dan *Enhalus acroides*. Sedangkan biota yang berasosiasi dengan lamun yaitu jenis-jenis ikan tertentu crustacean, molusca (genera *Pinna*, *Lambis*, *Strombus*) ekinodermata (*Holothuria* dan *Asteroidea*), dan cacing laut (*polychaeta*) juga banyak ditemukan di kawasan ini.

Kepulauan Banggai terdiri dari beberapa pulau kecil yang memiliki terumbu karang yang sangat luas yaitu jenis atol, goba, dan *fringing reef*. Ikan Karang yang teridentifikasi terdiri dari 33 famili dan 132 spesies. Selain itu, ditemukan pula salah satu ikan hias endemik yaitu Cardinal Fish (*Pteropogon kauderni*) dan Abalon (*Haliotis* sp.) yang memiliki harga jual yang tinggi. Kawasan konservasi di Ekoregion Laut 12 adalah TWAL Teluk Lasolo, Sulawesi Tenggara.

M. Laut Banda Sebelah Selatan Sulawesi dan Teluk Bone

Karakteristik utama Ekoregion Laut Laut Banda sebelah selatan Sulawesi dan Teluk Bone adalah keanekaragaman hayati karang yang tertinggi di dunia. Terumbu karang di ekoregion ini dicirikan oleh tipe terumbu karang yang sangat beragam. Kawasan kaya ini pula menjadi rumah bagi 387 spesies karang (68 genera dan 13 famili). Selain itu, ekoregion ini memiliki diversitas ikan sebanyak 942 spesies.

Perairan Kepulauan Wakatobi juga memiliki keragaman Cetacea yang tinggi sekitar 11 spesies yang terdiri dari lima spesies paus dan enam spesies lumba-lumba. Taman Nasional Laut Wakatobi secara khusus melindungi migrasi paus, lumba-lumba, dan fauna laut berukuran besar lainnya seperti hiu, penyu, Ikan Matahari (*Mola mola*), tuna, dan *billfish* (ikan predator berukuran besar).

N. Laut Seram dan Teluk Bintuni

Keanekaragaman hayati ekoregion laut Laut Seram dan Teluk Bintuni ditandai dengan tingginya keanekaragaman terumbu karang di wilayah Laut Seram, Kepulauan Raja Ampat, Fak-Fak, dan Kaimana serta ekosistem mangrove di

wilayah laut Bintuni tergolong terluas di Indonesia. Selain itu juga, terdapat beberapa biota laut endemik di ekoregion ini diantaranya yaitu hiu berjalan *walking shark (Hemiscyllium freycineti)*.

Di Fak-Fak dan Kaimana ditemukan 471 spesies terumbu karang dengan rata-rata tutupan karang hidup sekitar 36.67 persen. Sedangkan di Raja Ampat tercatat sebanyak 533 spesies karang keras dengan rata-rata tutupan karang hidup sekitar 31 persen. Data terbaru jumlah spesies ikan karang di Raja Ampat serta Fak-Fak dan Kaimana tercatat masing-masing sebanyak 1.508 dan 1.023 spesies, terdiri dari 116 famili dan 484 genera.

Perairan Kepulauan Raja Ampat memiliki keragaman jenis hiu sebanyak 22 spesies, diantaranya hiu martil atau *hammerhead (Sphyrna lewini* dan *Sphyrna mokarran)*, sedangkan ada 2 jenis yang dianggap “vulnerable”, yaitu gorango bintang atau *whale shark (Rhincodon typus)*, *Tawny nurse shark (Nebrius ferrugineus)*, *Zebra shark (Stegastoma fasciatum)* dan *Shortfin mako (Isurus oxyrinchus)*. Selain itu, Raja Ampat menjadi rumah bagi satu spesies hiu endemik, yaitu hiu berjalan *Hemiscyllium freycineti*.

O. Laut Banda

Karakteristik utama ekoregion Laut Banda adalah tingginya keanekaragaman terumbu karang. Jenis lumba-lumba oseanik dan jenis paus, termasuk paus sperma, dapat ditemukan dalam jumlah yang sangat melimpah di seluruh perairan dalam di ekoregion ini. Ekoregion Laut Banda juga memiliki sejumlah lokasi penting untuk jenis reptil dan avifauna. Selain itu, penyu belimbing, penyu hijau, dan penyu pipih mencari makan di seluruh wilayah ekoregion ini.

Pada kawasan ini juga ditemukan sekitar 32 jenis teripang (*Holothuria*) yang bersifat endemik. Dugong dilaporkan keberadaannya di kepulauan Lease, Saparua, Haruku, dan Nusalaut. Populasi ini diperkirakan terdiri dari 22-37 ekor. Dalam beberapa laporan penelitian disebutkan bahwa ekoregion ini didominasi ikan pari.

Kawasan konservasi yang terdapat dalam ekoregion ini meliputi TWAL Pulau Kassa, Maluku; TWAL Pulau Marsegu; TWAL Pulau Pombo, Maluku; dan TWP Laut Banda, Maluku.

P. Samudra Pasifik Sebelah Utara Papua

Karakteristik utama ekoregion ini adalah lokasi peneluran utama dan terbesar spesies penyu Belimbing (*Dermochelys coreacea*) di dunia. Rata-rata penyu naik bertelur sebanyak 3.000-5.000 ekor. Selain itu di ekoregion ini terdapat 6 jenis Kima dari delapan jenis Kima di dunia, yaitu Kima pasir (*Tridacna hippopus*), Kima besar (*Tridacna maxima*), Kima lubang (*Tridacna derasa*), kima raksasa (*Tridacna gigas*), dan kima sisik (*Tridacna squamosa*).

Ekosistem padang lamun juga hanya ditemukan di beberapa wilayah saja seperti di pantai Kampung Saubeba, yaitu *Cymodocea serrulata*, *C. tricostata*, *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila ovalis*, *H. ovate*, *Syringodium filiforme*, dan *Thalassodendron ciliatum*. Di kawasan pesisir utara

Kabupaten Sorong teridentifikasi 12 jenis mamalia dan beberapa reptil. Reptil yang lazim yaitu penyu belimbing (*Dermochyles coreacea*), penyu hijau (*Chelonia mydas*), dan penyu sisik (*Eretmochelys imbricate*). Kawasan konservasi yang terdapat di ekoregion ini antara lain KKPD Abun/Jamursba Medi, Papua Barat, SML Pantai Jamursba Medi, Papua Barat.

Q. Teluk Cendrawasih

Karakteristik utama Ekoregion Laut Teluk Cendrawasih adalah terumbu karang dengan sejumlah biota laut endemik. Jenis lamun yang terdapat di Teluk Cendrawasih terdiri dari *Thalassia* sp., *Enhalus* sp., *Cymodeca* sp., *Siringodium* sp., dan *Halopilla* sp. Pada kawasan ini ditemukan karang keras sebanyak 469 spesies di mana 20 diantaranya teridentifikasi sebagai spesies endemik.

Berdasarkan beberapa survei, diversitas ikan karang di Teluk Cendrawasih sebanyak 1.006 spesies. Grup biota stomatopoda tercatat sebanyak 37 spesies, di mana 6 spesies dari jumlah tersebut belum dideskripsi. Selain itu ikan Napoleon dan hiu Paus menjadikan Teluk Cendrawasih sebagai habitatnya favoritnya.

Kawasan konservasi Ekoregion Laut Teluk Cendrawasih antara lain TNL Teluk Cendrawasih, KKPD Biak Numfor, Papua; dan TWP Padaido. Di kawasan TNTC terdapat 4 jenis penyu yaitu penyu sisik (*Eretmochelys imbricate*), penyu hijau (*Chelonia mydas*), penyu lekang (*Lepidochelys olivacea*) dan penyu belimbing (*Dermochelys coriacea*).

R. Laut Arafura

Karakteristik utama ekoregion Laut Arafura adalah hamparan mangrove yang tumbuh di sepanjang pesisir. Ekoregion ini merupakan penghubung penting antara populasi taksa laut Indonesia dan Australia. Region ini menjadi koridor penyebaran larva untuk wilayah-wilayah dengan keragaman tinggi di Papua bagian Selatan dan Sulawesi, Hiu Paus, penyu Hijau, penyu Lekang dan penyu Belimbing.

Keberadaan terumbu karang di wilayah ini sangat sedikit yang disertai dengan rendahnya keragaman ikan lautnya. Padang lamun tersebar di kepulauan Aru. Lamun ini merupakan habitat yang penting sebagai makanan dugong dan penyu hijau. Kawasan konservasi pada ekoregion Laut Arafura antara lain KKPD Kaimana, Papua Barat dan TWP Aru Tenggara.

BAB IV

Nilai, Ancaman, dan Pemanfaatan Keanekaragaman Hayati Laut

Kadariusman

Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, KKD BP-SGK, Laboratory of Aquatic Biodiversity, Conservation and Domestication, Sorong, Papua Barat; Sekolah Tinggi Perikanan, KKD Pengelolaan Sumber Daya Perairan, SR. Bioekologi, Laboratorium Biologi dan Konservasi, Jakarta Selatan

Rita Rachmawati

Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Nur Azmi Ratna Setyawidati

Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (BRSDM KP, KKP)

Sinar Pagi Sektiana

Program Studi Teknologi Akuakultur, Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta

Ricardo F. Tapilatu

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) dan Program Sumber Daya Akuatik (SDA) dan Ilmu Lingkungan - Pascasarjana Universitas Papua (UNIPA); Pusat Penelitian Sumber Daya Perairan Pasifik (P2SP2) – Universitas Papua (UNIPA), Manokwari, Papua Barat

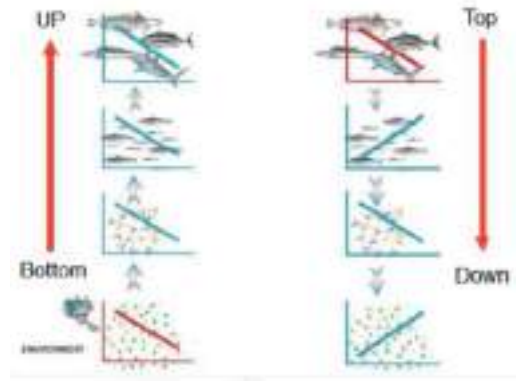
Sitasi:

Kadariusman, Rachmawati R., Setyawidati N. A. R., Sektiana S. P., & Tapilatu R. F. 2019. Nilai, Ancaman, dan Pemanfaatan Keanekaragaman Hayati Laut, in S. Widjaja dan Kadariusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Nilai, Ancaman, dan Pemanfaatan Keanekaragaman Hayati Laut

Menghilangnya jenis organisme penting atau berkurangnya keragaman dapat secara nyata mengganggu kesehatan ekosistem akibat adanya efek rantai makanan (*trophic cascade*), baik *top-down* maupun *bottom-up* (Gambar 76). *Top-down trophic cascade* merupakan efek rantai makanan yang berawal dari posisi tertinggi pada rantai makanan dan berpola negatif atau berbanding terbalik. Contoh, pada rantai makanan sederhana adalah ikan napoleon yang merupakan predator bagi bintang laut *Acanthaster planci* (COTS) yang mengkonsumsi polip karang dan menyebabkan kematian pada bagian koloni karang tersebut.

Gambar 76. Pola *trophic cascade* (Kanan: *top-down*). Umumnya gangguan terjadi pada top predator atau konsumen tingkat tinggi (grafik merah). Pola korelasi gangguan terhadap level di bawahnya adalah negatif artinya bertolak belakang, pola disajikan pada grafik korelasi kelimpahan (Kiri: *bottom-up*). Gangguan biasanya terjadi bukan pada level terbawah melainkan faktor lingkungan yang mempengaruhi produktivitas primer (grafik merah). Pola korelasi gangguan terhadap level di atasnya adalah positif, artinya sejalan atau sama. Pola disajikan dalam bentuk grafik korelasi kelimpahan. (Photo credit: Philippe Cury)



Top-down trophic cascade dimulai dari posisi tertinggi, dalam hal ini ikan napoleon. Apabila populasi ikan napoleon menurun secara nyata, jumlahnya tidak mampu mengkonsumsi cukup banyak COTS, akibatnya populasi COTS meningkat tajam dan mengkonsumsi banyak koloni karang sehingga semakin banyak koloni karang yang mati akibat ledakan populasi COTS. Pada rantai makanan ini, secara singkat *top-down trophic cascade* yang disebabkan menurunnya populasi ikan napoleon (predator/konsumen

kuarter), menyebabkan meningkatnya populasi COTS (konsumen tersier), dan menurunnya populasi karang hidup (konsumen sekunder). Diagram kanan pada Gambar 76 (Diagram kanan) menunjukkan pola *top-down trophic cascade* menggunakan teladan rantai makanan klasik dari ikan predator hingga fitoplankton.

Berbeda dengan *top-down trophic cascade*, gangguan pada *bottom-up trophic cascade* umumnya akibat faktor lingkungan atau abiotik yang mengganggu kelimpahan produsen primer di tingkat paling bawah. Efek gangguannya berpola positif artinya sejalan mengikuti kondisi awal. Misalkan pada rantai makanan sederhana dengan fitoplankton sebagai produsen primer dimakan oleh zooplankton yang dimakan oleh ikan kembung dan selanjutnya tuna sebagai predator (Gambar 76, diagram kiri).

Apabila suplai unsur hara untuk proses fotosintesis fitoplankton terganggu akibat badai yang membuat terhentinya *upwelling*, akan berakibat pada menurunnya kelimpahan zooplankton akibat menurunnya kelimpahan fitoplankton. Selanjutnya, ketersediaan zooplankton yang rendah tidak mampu mendukung populasi ikan kembung (pelagis kecil) dalam jumlah besar sehingga populasi ikan kembung juga menurun yang berakibat pada menurunnya populasi ikan tuna (pelagis besar/predator) yang bernilai ekonomis tinggi.

Menilik teladan di atas, gangguan pada salah satu tingkat rantai makanan dapat berakibat buruk bagi kesehatan ekosistem. Apabila keragaman jenis pada suatu ekosistem tinggi, suatu tingkat rantai makanan dapat diisi oleh lebih banyak jenis biota maka efek dari gangguan dapat diperkecil. Misalkan apabila ikan napoleon berkurang akibat tangkap lebih untuk keperluan perdagangan ikan hidup namun ekosistem tersebut memiliki populasi siput triton, yang juga merupakan predator COTS, yang sehat maka tetap dapat mengendalikan jumlah COTS dan mencegah terjadinya ledakan populasi COTS untuk mempertahankan keberadaan koloni karang sehat.

Pada teladan *bottom-up trophic cascade*, jika keragaman pada ekosistem tersebut tinggi dan tersedia ikan-ikan kecil yang mengkonsumsi krustasea pemakan organisme kecil yang hidup di substrat lunak (*deposit feeder*) yang tidak terpengaruh oleh kelimpahan fitoplankton, maka ikan kembung dapat mengkonsumsi ikan kecil tersebut sehingga populasinya tetap mampu mendukung kestabilan populasi ikan tuna. Keragaman jenis yang tinggi tidak hanya mendukung kestabilan ekosistem di laut, lebih jauh juga dapat menjaga stok perikanan.

Sumber Plasma Nutfah

Keragaman hayati yang tinggi diyakini memberikan efek positif ketika suatu ekosistem mengalami gangguan. Salah satu dasarnya adalah reaksi biota yang berbeda terhadap suatu gangguan sehingga diasumsikan semakin tinggi

tingkat keragaman hayati di suatu ekosistem memiliki lebih banyak jenis yang lebih tahan, lebih toleran, lebih lenting, dan/atau lebih adaptif yang memberikan efek positif bagi ekosistem yang terganggu.

Lebih jauh, keragaman hayati dapat menjadi bank plasma nutfah yang mendukung upaya pemulihan suatu ekosistem yang rusak atau tidak sehat. Pada ekosistem atau habitat yang rusak dengan daya lenting dan daya adaptasi yang rendah, membutuhkan dukungan bibit, umumnya dalam bentuk larva atau biji dari tempat lain dengan keragaman hayati yang masih baik, yang berperan sebagai penyedia plasma nutfah.

Sumber Daya Ikan/Pangan

Stok ikan lestari Indonesia mengalami peningkatan secara signifikan. Pada 2015, stok ikan lestari hanya 9,93 juta ton/tahun kemudian meningkat tajam menjadi 12,54 juta ton pada 2017. Pada 2015, Kadin Indonesia dan BAPPENAS memprediksi bahwa nilai kelautan Indonesia mencapai 171 miliar dolar AS atau setara dengan Rp2.046 triliun (kurs Rp12.000/dolar AS). Nilai sumber daya ekonomi kelautan tersebut dapat dilihat pada sub-sektor wilayah pesisir (Rp670 triliun), bioteknologi (Rp480 triliun), perikanan (Rp380 triliun), minyak bumi (Rp252 triliun), transportasi laut (Rp240 triliun), dan wisata bahari (Rp24 triliun).

Dengan demikian, nilai sumber daya perikanan Indonesia menduduki peringkat ketiga dari keseluruhan sub sektor yang berkaitan dengan lautan. Nilai sumber daya perikanan sebesar Rp380 triliun tersebut meliputi perikanan tangkap, budidaya, pengolahan, dan subsektor kohesif lainnya.

Ekspor produk perikanan Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Selama periode Januari-Juni 2019, nilai ekspor produk perikanan Indonesia mencapai Rp40 triliun, jumlah tersebut mengalami kenaikan 24 persen dibandingkan periode yang sama pada tahun sebelumnya yang hanya mencapai Rp32 triliun.

4.1 Ancaman dan Konflik Sumber Daya Hayati Laut

4.1.1 Ancaman

Keanekaragaman hayati diartikan sebagai fungsi-fungsi ekologi atau layanan alam, berupa layanan yang dihasilkan oleh satu spesies dan/atau ekosistem (ruang hidup) yang memberi manfaat kepada spesies lain termasuk manusia (McAllister, 1998). Seiring dengan berkembangnya populasi manusia, tingginya aktivitas ekonomi, teknologi, keberadaan keanekaragaman mulai terancam, terutama diakibatkan oleh aktivitas manusia.

Sumber daya hayati (habitat dan spesies) di laut mengalami ancaman serius oleh berbagai aktivitas manusia di darat. Kegiatan tersebut berdampak langsung atau secara tidak langsung pada keanekaragaman hayati. Ancaman langsung adalah jenis ancaman yang berdampak langsung pada sumber daya laut, misalnya penangkapan ikan yang berlebihan, dan atau menggunakan alat tangkap yang tidak ramah lingkungan (*trawl*, sianida). Ancaman tidak langsung meliputi kegiatan-kegiatan yang tidak terkait dengan pengambilan sumber daya hayati di laut, namun akhirnya berpengaruh pada penurunan sumber daya hayati, sebagai contoh penambangan minyak di laut lepas, ketika kilang minyak mengalami kebocoran maka terjadi pencemaran yang mengakibatkan migrasi, kematian biota, dan kerusakan parah pada habitatnya.

Ancaman memiliki arti sesuatu (perbuatan atau hal dan sebagainya) yang mengancam, membahayakan, menggelisahkan, dan mengganggu hal lain (Kamus Besar Bahasa Indonesia). Namun berbeda halnya dengan ancaman keanekaragaman hayati. Ancaman ini berdampak pada keberadaan makhluk hidup, seperti bencana alam gunung meletus yang mengakibatkan hilangnya sebagian biodiversitas yang ada di sekitarnya.

Ancaman terhadap kelangsungan biodiversitas semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Ancaman tersebut dapat dilihat pada hubungan penyediaan makanan (*food*), energi, dan hilangnya keanekaragaman hayati (*biodiversity loss*). Ancaman dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu ancaman dengan pemicu secara tidak langsung dan pemicu secara langsung pada biodiversitas. Pemicu tidak langsung dapat berupa karena faktor ekonomi, demografi, sosial-politik, udaya dan agama, serta sains dan teknologi. Sedangkan pemicu secara langsung berupa eksploitasi lebih, perubahan habitat termasuk fragmentasi, *nutrient loading* dan polusi, spesies asing dan invasif, serta perubahan iklim.

Faktor Penyebab

A. Spesies Asing Invasif

Spesies asing invasif adalah spesies yang telah menyebar di luar habitat alami mereka dan mengancam keanekaragaman hayati di daerah baru. Spesies ini berbahaya untuk spesies asli dan endemik dengan berbagai cara seperti sebagai predator, parasit, vektor (atau pembawa) dari penyakit, atau pesaing langsung untuk mendapatkan habitat dan makanan. Dalam banyak kasus, spesies asing invasif tidak memiliki predator dan bahkan menimbulkan ketidakseimbangan ekologis pada habitat barunya.

Spesies ikan introduksi dapat menyebabkan dampak negatif apabila sifatnya di perairan menjadi invasif (Verbrugge *et al.*, 2012). Spesies invasif adalah organisme asli (*native*) ataupun asing (*non-native*) yang telah diintroduksi ke suatu daerah, mampu beradaptasi, berkembang lalu menyebar di luar titik awal introduksi mereka. Spesies invasif biasanya menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, ekonomi, atau kesehatan manusia (Kolar & Lodge, 2001).

Spesies invasif dapat berupa seluruh kelompok taksonomi meliputi virus, alga, lumut, paku-pakuan, tumbuhan tinggi, invertebrata, ikan, amfibi, reptil, burung, dan mamalia (Hossain *et al.*, 2009). Pertumbuhan populasi manusia, peningkatan kapasitas transportasi, dan globalisasi ekonomi telah mempercepat laju introduksi spesies invasif di seluruh dunia (Vitousek *et al.*, 1997). Spesies invasif dapat mempengaruhi spesies asli secara langsung, melalui persaingan atau pemangsaan, atau secara tidak langsung, yaitu dengan mengubah habitat atau menyebarkan penyakit. Spesies invasif sekarang diakui sebagai penyebab utama hilangnya keanekaragaman hayati dan perubahan dalam fungsi ekosistem, yang mengarah ke dominasi suatu spesies di suatu ekosistem sehingga spesies asli akan digantikan oleh spesies invasif (baik asli maupun asing) (Lymbery *et al.*, 2014).

Spesies asing invasif (SAI) didefinisikan sebagai spesies asing (non-native) yang pada umumnya diintroduksi oleh manusia kemudian mengancam ekosistem, habitat atau spesies lainnya dan menyebabkan perubahan global pada lingkungan (Pejchar & Mooney, 2009). Spesies asing menjadi invasif apabila: tidak ada predator, tidak ada penyakit dan parasit, kemampuan adaptasi dan sifat agresif spesies asing tersebut dalam merebut habitat dan makanan spesies asli sangat tinggi (Primack, 2002).

SAI dapat menimbulkan dampak serius pada habitat dan spesies asli serta spesies endemik. Dampak yang ditimbulkan secara spesifik berupa ketidakseimbangan ekologis serta menjadi kompetitor pada spesies asli dan endemik (biodiversitas). Evidensi seperti ini dapat kita lihat pada spesies ikan lepu ayam laut atau *red lionfish*, yang saat ini menjadi permasalahan di perairan Karibia, Amerika Utara. Lebih lanjut, spesies asing invasif memberikan dampak ekonomi. Beberapa studi telah melaporkan kerugian secara ekonomi yang ditanggung suatu negara akibat spesies invasif, yang dapat mencapai 375 juta dolar per tahun. Bahkan di Eropa dalam kurun waktu antara tahun 1988 sampai tahun 2000 kerugiannya mencapai 5 milyar dolar (Purwono *et al.*, 2002). Selain itu pula, SAI dapat memberikan dampak buruk pada kesehatan. Dampak lain yang diakibatkan oleh SAI yaitu menyebabkan masalah kesehatan. Hampir 100 spesies (6 persen) invertebrata asing di Eropa telah mempengaruhi kesehatan manusia dan hewan (Roques *et al.*, 2009). Lebih dari setengah dari 47 nematoda yang diperkenalkan adalah endoparasit bagi manusia atau menyebabkan zoonosis.

Pemerintah menerbitkan berbagai regulasi terkait SAI, seperti Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan mengenai Ketentuan Pemasukan Media Pembawa Berupa Ikan Hidup Sebagai Barang Bawaan ke Dalam Wilayah Negara Republik Indonesia dan Larangan Pemasukan Jenis Ikan Berbahaya dari Luar Negeri ke dalam Wilayah Negara Republik Indonesia. Berbagai upaya dapat dilakukan sebagai cara mengendalikan spesies invasif, salah satunya yaitu dengan melakukan larangan *restocking* ikan SAI ke perairan umum. Selain itu juga dilakukan penangkapan dan pemusnahan ikan SAI yang tidak dikelola secara benar.

B. Tangkap Lebih (*Overfishing*)

Overfishing adalah status yang diberikan kepada suatu kawasan perairan yang sumber daya ikannya telah mengalami tangkap lebih. Tangkap lebih yang dimaksud adalah jika laju penangkapan yang dilakukan telah melampaui kemampuan sumber daya ikan tersebut untuk pulih (Atmaja, *et al.*, 2007).

Overfishing yang berkaitan dengan dampak sejalan penangkapan (*collateral impacts*) dikenal dalam tiga bentuk. Pertama, *growth overfishing* yang terjadi ketika ikan ditangkap sebelum sempat tumbuh. Kedua, *recruitment overfishing* yang menyebabkan pengurangan banyaknya ikan muda yang memasuki daerah penangkapan (Atmaja *et al.*, 2007). *Recruitment overfishing* dapat terjadi karena beberapa faktor seperti penurunan stok induk pemijah, yang menyebabkan jumlah telur yang dihasilkan semakin terbatas, dan berkurangnya proses peremajaan, akibat degradasi habitat yang mempengaruhi kawasan asuhan. Ketiga, *economic overfishing* dan *maximum sustainable yield* yang diturunkan dari model produksi surplus (Schaefer dan Fox). *Economic overfishing* terjadi ketika tingkat upaya penangkapan melewati maksimum imbalan ekonomi (*maximum economic yield*). Model surplus produksi tidak membedakan antara *growth* dan *recruitment overfishing* tetapi lebih menekankan pada penggabungan kedua proses tersebut ke dalam satu kategori *biological overfishing* secara umum (Pauly, 1988).

Pada level global, tangkap lebih diperkirakan akan mendunia kurang dari 50 tahun mendatang yang diakibatkan oleh beberapa faktor termasuk meningkatnya kebutuhan protein ikan, baik untuk konsumsi manusia maupun pakan ternak atau kebutuhan spesifik lainnya. *Overfishing* dapat mendatangkan dampak malapetaka, kerusakan habitat, dan disfungsi ekologi laut serta memutus secara permanen mata rantai makanan. Contoh, penangkapan lebih ikan kecil (seperti *hering* atau tembang) dapat memberikan dampak serius terhadap kelangsungan hidup ikan pemangsa yang lebih besar seperti tuna, cakalang, dan tongkol (*bottom-up trophic cascade*, lihat bagian awal bab ini).

Hingga 2019, hampir separuh Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP NRI, lihat di bagian akhir bab ini) mengalami *overfishing* yang sangat parah untuk ikan karang dan lobster, sementara lebih dari separuhnya mengalami tangkap lebih untuk sumberdaya udang penaeid.

Mengingat gejala *overfishing* semakin merambah di hampir semua WPP di Tanah Air, pemerintah mengambil beberapa langkah serius dan nyata diantaranya dengan menerbitkan Peraturan Presiden mengenai Satuan Tugas Pemberantasan Penangkapan Ikan secara Ilegal (*Illegal Fishing*) dengan tujuan menanggulangi praktek penangkapan ikan secara ilegal yang terjadi di Indonesia yang telah mengakibatkan kerugian besar pada negara, baik secara ekonomi, sosial, ekosistem sumberdaya perikanan, serta mengancam tercapainya tujuan pengelolaan perikanan yang berdaulat, lestari, dan memberikan kesejahteraan.

Untuk biota laut spesifik lainnya, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) mengeluarkan kebijakan tentang pembatasan penangkapan tiga spesies perikanan penting yakni Lobster (*Panulirus spp.*), Kepiting (*Scylla spp.*) dan Rajungan (*Portunus pelagicus*).

C. Penangkapan Tidak Ramah Lingkungan (*Destructive fishing*)

Jenis alat yang diketahui merusak habitat sumber daya hayati pesisir antara lain alat pengumpul ikan, bahan peledak, bahan beracun, dan pukot harimau. Sebagai ilustrasi, pukot udang dengan lebar 20 meter mampu menggerus dasar laut seluas 1 km² dalam waktu 1 jam. Tingkat kerusakan ini melebihi tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh gelombang (DBSD, 2004). Penggunaan alat tangkap tidak ramah lingkungan tidak hanya yang merusak habitat fisik, tetapi termasuk juga yang banyak menangkap biota nontarget seperti ikan berukuran kecil, juga biota lain seperti ikan hiu dan pari, penyu, lumba-lumba, hingga burung laut.

Untuk membatasi penggunaan alat tangkap tidak ramah lingkungan, KKP menerbitkan peraturan terkait alat penangkapan ikan Pukat Hela (*Trawls*) dan Pukat Tarik (*Seine Nets*) di WPP NRI. Peraturan ini menegaskan bahwa setiap orang, baik perorangan maupun korporasi diharapkan dapat mematuhi seri peraturan di atas, dan akan ada tindakan tegas dari pemerintah jika terbukti melakukan pelanggaran.

D. Polusi dan Sampah Laut (*marine debris*)

Pemicu lain ancaman terbesar pada hilangnya keanekaragaman hayati adalah polusi di lautan. Polusi berasal dari berbagai sumber, polusi tumpahan minyak, makro dan mikro plastik, serta limbah dan nutrisi spesifik lainnya. Limbah nutrisi seperti nitrogen dan fosfor umumnya berasal dari bahan pemupukan, dan jika dibuang ke perairan dalam jumlah yang berlebihan akan merusak lingkungan perairan seperti kejadian eutrofikasi.

Polusi tumpahan minyak dapat berakibat fatal bagi kelangsungan biota dan fungsi ekologis perairan. Sebagai contoh, peristiwa meledaknya anjungan minyak Montara di lepas landas kontinen Australia, yang sulit diatasi dan telah menyebabkan kerugian ekosistem laut Timor. Pemerintah Indonesia mengestimasi kerugian masyarakat pesisir lebih dari Rp 3 triliun dan meminta pemerintah Australia dan perusahaan the Petroleum Authority of Thailand Exploration and Production Australasia (PTTEP AA) untuk bertanggung jawab dengan memberikan ganti rugi.

Selain itu, perairan laut di dunia menjadi destinasi terakhir pembuangan sampah, termasuk sampah plastik yang tidak dapat terurai dalam waktu singkat. Saat ini, seluruh bagian ekosistem laut telah terkontaminasi sampah (Gall & Thompson, 2015). Sampah laut (*marine debris*) menimbulkan berbagai ancaman dari berbagai sisi yaitu dari segi fisika, biologi dan kimia dengan

dampak berupa terjadinya perubahan salinitas, kontaminasi logam berat, gangguan fisiologis biota laut dan ekosistem pesisir, maupun degradasi habitat seperti abrasi (Bao *et al.*, 2018).

Kontaminasi sampah memiliki dampak yang luas dan berbahaya bagi biota laut (mamalia, ikan, burung laut, invertebrata, penyu) dan kesehatan manusia (potensinya sebagai media transportasi kontaminan organik dan anorganik) yang dapat berakibat pada kematian (Gall & Thompson, 2015; Vélez-Rubio *et al.*, 2018). Lingkungan laut semakin tercemar oleh sampah karena tingkat masukannya yang lebih besar daripada waktu degradasinya, terutama untuk sampah plastik yang mendominasi $\frac{3}{4}$ dari sampah laut dan 10 persen diantaranya merupakan sampah yang baru diproduksi.

Menurut Fendall & Sewell (2009), berdasar ukurannya sampah plastik di laut dapat dibagi ke dalam dua kategori, yaitu makroplastik (>5 mm) dan mikroplastik (<5 mm). Mikroplastik menjadi salah satu dari tiga partikel terapung yang dominan ditemukan pada permukaan perairan laut. Mikroplastik ini dapat ditemukan pada bagian permukaan, kolom, dan dasar perairan, pantai, sungai, hingga muara (Peters *et al.*, 2017). Tersebaranya partikel mikroplastik dapat dihubungkan dengan densitas populasi manusia, karena prevalensi mikroplastik merupakan akibat dari tingginya penggunaan barang konsumsi sehari-hari (Rocha-Santos & Duarte, 2015).

Pencemaran sampah plastik telah menimbulkan dampak setidaknya pada 600 jenis biota laut meliputi zooplankton, invertebrata benthik, bivalvia, ikan dan burung laut (Cole *et al.*, 2014). Biota laut tersebut secara tidak sengaja mengkonsumsi mikroplastik yang dapat berakibat pada kematian.

Puspita *et al.*, (2018) melaporkan bahwa presensi kandungan mikroplastik pada ikan laut konsumsi Indonesia perlu mendapatkan perhatian serius, di mana ikan-ikan laut yang mengkonsumsi mikroplastik diketahui terdiri dari 318 spesies yang merepresentasikan 131 genus dan 53 famili. Jenis mikroplastik yang dominan ditemukan pada saluran pencernaan ikan tersebut adalah jenis fiber, filamen, dan fragmen. Sedangkan 3 jenis ikan yang mengakumulasi lebih banyak mikroplastik yaitu *Kawakawa Euthynnus affinis*: Scombridae (Cantor, 1849), *Broad-striped anchovy Anchoa hepsetus*: Engraulidae (Linnaeus, 1758), dan *Slender grouper Anyperodon leucogrammicus*: Serranidae (Valenciennes, 1828).

Mengingat sampah plastik di lautan (*marine debris*) termasuk masalah global, nasional dan daerah, maka dibutuhkan aksi nyata tentang kampanye pengurangan penggunaan plastik dan pemberian alternatif lain penggunaan material berbahan nonplastik untuk mengurangi bahan plastik di lautan. Selain itu, dibutuhkan pula penegakan hukum.

Pada World Ocean Summit 2017 di Bali, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mengurangi 70 persen sampah plastik di laut pada tahun 2025. Sebagai tindak lanjut, Pemerintah Indonesia telah menerbitkan

Peraturan Presiden Nomor 83 Tahun 2018, tentang penanganan sampah laut, dan memuat Rencana Aksi Nasional 2018-2025 yang melibatkan berbagai Kementerian/Lembaga dan Pemda.

E. Perubahan Iklim (*Climate change*)

Pertambahan penduduk dan pemenuhan kebutuhan manusia yang hampir tidak terbatas adalah dua faktor penyebab perubahan ekologi di darat yang juga berdampak pada laut. Karena laut juga mempengaruhi daratan secara timbal balik, maka daratan menerima “*double-blow effect*”, atau dampak ganda dari kegiatan yang dimulai dari darat. Pada akhirnya, manusia yang tinggal di darat yang harus menerima atau menanggung kerugian ini secara bersama.

Meningkatnya konsentrasi karbondioksida di atmosfer menyebabkan meningkatnya suhu air laut atau meningkatnya frekuensi terjadi suhu air laut ekstrim. Sebagian besar biota laut adalah *poikilotherm* dan memiliki kemampuan beradaptasi yang terbatas terhadap suhu lingkungan. Karenanya mereka memiliki preferensi habitat yang terbatas. Tingginya suhu lingkungan dapat menyebabkan stres pada koloni karang, yang bersifat bentik, menyebabkan *coral bleaching* atau pemutihan karang (Salm & Coles, 2001; Gambar 77(a)).



(a) Coral bleaching



(b) Ular laut tropis di laut dingin

Gambar 77. Dampak perubahan iklim. (a) Kenaikan suhu air laut di atas batas toleransi, dapat menyebabkan pemutihan karang (*coral bleaching*). Apabila suhu tinggi berlanjut, dapat menyebabkan kematian karang, ditandai oleh tertutupnya permukaan karang oleh alga berwarna kecoklatan, yang akan menurunkan kesehatan ekosistem terumbu karang. (*Photo credit*: Rita Rachmawati); (b) Ular laut beracun ditemukan terdampar dalam keadaan sekarat di Pantai San Clemente, sebelah selatan dari Los Angeles, California, pada tahun 2015 saat terjadi kenaikan suhu air laut akibat El Niño.

Keberadaan ular laut tropis di perairan lebih dingin diduga mengikuti mangsanya yang bermigrasi atau mencari makanan akibat makanan di lokasi asal berkurang atau berpindah. (*Photo credit*: Surfrider Foundation)

Menghangatnya air laut dapat menggeser habitat populasi biota ke perairan yang lebih dingin. Migrasi ini tidak terbatas dilakukan oleh biota yang membutuhkan habitat baru yang lebih sesuai suhunya, tetapi juga dapat diikuti dengan migrasi oleh biota yang mengkonsumsi biota migran. Migrasi karena makanan ini juga dapat mengubah daerah pemijahan dan pengasuhan. Misalnya, paus bermigrasi mengikuti makanannya dan melahirkan di lokasi dengan makanan yang melimpah. Bermigrasinya makanan juga dapat menyebabkan kelaparan bagi konsumen yang tidak dapat ikut bermigrasi dan menurunkannya tingkat keberhasilan kelahiran dan kelangsungan hidup bagi hewan yang bermigrasi mengikuti makanannya namun tidak mampu beradaptasi dengan lingkungan baru yang lebih dingin (Gambar 77(b)).

Pemanasan global juga berdampak pada populasi penyu. Sebagaimana reptilia lainnya, penyu memiliki sifat penentuan jenis kelamin berdasarkan suhu lingkungan (*Temperature-Dependent Sex Determination*, TSD, lihat sub bab terkait reptil laut). Suhu pantai peneluran berpengaruh terhadap rasio jenis kelamin tukik penyu laut. Perubahan rasio yang tidak mendukung proses reproduksi dan rekrutmen mengancam kelangsungan spesies penyu tertentu.

Selain itu, naiknya suhu air laut akan meningkatkan volume air laut dan menaikkan muka laut. Sebagai negara kepulauan, Indonesia berisiko kehilangan lahan darat di pesisir dan dataran rendah yang memiliki populasi manusia yang tinggi, termasuk tenggelamnya gugus pulau karang. Selain risiko terhadap habitat manusia, seri gugus pulau terluar sebagai tempat untuk mengukur batas yurisdiksi dapat mengubah batas teritorial dan berimplikasi pada kedaulatan negara.

Secara ekologis, meningkatnya muka air laut juga dapat mempengaruhi keberadaan formasi lingkungan pantai, seperti hutan bakau. Pada kondisi normal, hutan bakau kemungkinan dapat beradaptasi terhadap peningkatan permukaan air laut untuk tumbuh ke arah daratan karena proses yang terjadi secara perlahan. Ironisnya saat ini sebagian besar hutan bakau sudah terisolasi oleh konstruksi bangunan di bagian daratan yang menghilangkan peluang untuk mengalami adaptasi tumbuh ke arah daratan.

Sementara penyerapan karbon dari atmosfer yang semakin tinggi akan menurunkan tingkat keasaman air laut. Hal ini mempengaruhi kemampuan kalsifikasi biota laut. Organisme yang membutuhkan konstruksi fisik kalsium baik sebagai pelindung, seperti gastropoda dan bivalvia, maupun sebagai kerangka, seperti plankton dan karang keras, dapat terdegradasi kualitas hidupnya, bahkan dapat merugikan komunitas biota melalui rantai makanan maupun hubungan simbiosis.

Sebagai contoh, *coccolithophores* merupakan fitoplankton yang berangka kalsium. Meningkatnya keasaman air laut dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan memproduksi kalsium. Konsekuensinya, terjadi penurunan laju pertumbuhan ataupun kualitas kesehatan yang dapat meningkatkan laju

mortalitas. Karena fitoplankton ini merupakan salah satu makanan utama dari berbagai jenis ikan kecil dan zooplankton, maka rantai makanan di atasnya juga akan terganggu bahkan dapat berdampak hingga ke hewan darat dan manusia, sesuai asas *trophic cascade*.

Menurunnya pH juga mengganggu pertumbuhan karang keras, sedangkan karang keras merupakan struktur utama di ekosistem terumbu karang yang mendukung kehidupan banyak organisme lain. Dengan demikian, berkurangnya ketersediaan struktur karang keras akibat menurunnya laju pertumbuhan maupun tingginya tingkat mortalitas akibat berkurangnya daya tahan dari polip karang akan sangat mengganggu komunitas terumbu karang, baik sebagai tempat berlindung maupun mencari makan.

Perubahan iklim akibat meningkatnya karbondioksida dan gas rumah kaca lainnya telah menyebabkan perubahan musim baik dari segi perubahan waktu maupun intensitas. Perubahan waktu peralihan dari musim satu ke musim lainnya serta perubahan intensitas hujan akibat perubahan musim, misalnya meningkatnya atau menurunnya curah hujan telah menyebabkan terganggunya rutinitas proses migrasi biota maupun menggeser waktu pemijahan dan pemilihan makanan.

Interaksi atmosfer dan laut yang berubah akibat perubahan iklim dapat meningkatkan intensitas oseanografi laut seperti gelombang dan arus yang dapat mengganggu proses migrasi biota laut sehingga menyebabkan berubahnya rute migrasi.

F. Alih Fungsi Lahan

Diperkirakan sekitar 20-70 persen habitat alami Indonesia sudah rusak (BAPPENAS, 1993). Hal ini terjadi karena konversi dan reklamasi habitat alami tersebut untuk berbagai kepentingan pembangunan, misalnya, degradasi hutan mangrove untuk dikonversi menjadi tambak, lahan pertanian, permukiman, pelabuhan, dan industri. Kondisi ini dapat kita di pesisir timur Sumatra, pantai utara Jawa, dan Sulawesi Selatan.

Konversi lahan dapat mengakibatkan terjadinya fragmentasi habitat organisme bahkan menghilangkan habitat pada biota tertentu dan memaksa beragam spesies untuk bermigrasi pada habitat baru. Fragmentasi habitat dapat memutus koridor konektivitas antar spesies, baik untuk memijah, rekrutmen, mencari makan, maupun beruaya.

Pada level komunitas biota, fragmentasi habitat dapat mengurangi habitat asli, mengurangi luasan habitat, meningkatkan keterisolasian populasi, dan menambah kantong-kantong habitat yang menghalangi biota melakukan aktivitas alamiahnya.

Untuk mendukung pengelolaan ekosistem bakau yang berkelanjutan, pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 73 Tahun 2012

tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Peraturan tersebut mengamanatkan kepada Menteri Koordinator Bidang Perekonomian selaku Ketua Pengarah Tim Koordinasi Nasional untuk menetapkan kebijakan, strategi, program dan indikator kinerja pengelolaan ekosistem bakau.

Perpres di atas diperkuat dengan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 24/PERMEN-KP/2016 tentang Tata Cara Rehabilitasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil dan Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian (Permenko) Nomor 4 Tahun 2017 tentang Kebijakan, Strategi, Program, dan Indikator Kinerja, Pengelolaan Ekosistem Mangrove Nasional. Dalam Permenko itu ditetapkan target ekosistem mangrove berkategori baik seluas 3,49 juta hektar pada tahun 2045. Ini artinya diperlukan pemulihan ekosistem mangrove seluas 1,82 juta hektare. Lebih lanjut, melalui pemulihan dan pengelolaan ekosistem bakau yang berkelanjutan tersebut, Indonesia menargetkan dapat menurunkan emisi sebesar 29 persen pada 2030

G. Turisme/Wisata/Pariwisata

Keanekaragaman hayati sangat penting bagi wisatawan khusus penikmat alam (*nature-based tourist*), yaitu wisatawan yang menjadikan alam dan biota asosiatifnya sebagai objek untuk di nikmati dengan santai, melepas kepenatan, bersantai dengan famili dan sejawat. Biodiversitas memberikan layanan penting bagi sektor ekowisata yang menyediakan keindahan, interaksi dengan alam dan memanfaatkan alam sebagai wahana rekreasi lainnya. Ekowisata adalah wisata yang berdasar pada sumber daya alam dan arkeologi seperti burung dan satwa liar lainnya, daerah yang indah, terumbu, gua, situs fosil, situs arkeologi, lahan basah, serta daerah yang memiliki spesies langka atau terancam punah (Hetzer 1965 dalam Bjork, 2000). Orientasi utama ekowisata adalah perlindungan sumber daya alam yang dimanfaatkan dalam sektor wisata. Wisata alam dapat memberikan benefit positif terhadap pendapatan negara, masyarakat dan untuk menjaga kelangsungan biodiversitas itu sendiri. Di Raja Ampat, Papua Barat, dikenal slogan untuk menghormati keindahan alam laut dan bagaimana laut dapat dijadikan sebagai sumber ekonomi masyarakat dan pemerintah “Biota Raja Ampat: lebih baik dinikmati daripada diambil”, pesan ini menyiratkan syarat makna bahwa lebih besar manfaat kenikmatan biota lewat kegiatan ecotourism daripada mengeksploitasinya secara terus menerus.

Namun demikian, sektor ekowisata dapat membawa efek negatif pada hewan liar, tumbuhan, dan ekosistem asosiatif lainnya lewat perusakan terhadap biota secara langsung, menghalangi biota saat musim memijah, membuang bahan polutan pada habitat, eksploitasi berlebihan, dan padatnya kunjungan pada suatu habitat yang berakibat pada daya tekanan terhadap lingkungan.

Sektor ekowisata bersentuhan langsung dengan alam laut sebagai media plesiran. Dalam beberapa kasus, para pengunjung membawa biota asing dan

invasif ke dalam area ekowisata dan terlepas ke habitat baru tersebut, biota baru tersebut dapat berupa insekta, biota akuatik asing, dan tanaman.

H. Penyakit

Serangan penyakit memberikan dampak yang bervariasi terhadap keberlangsungan sumberdaya hayati laut. Aktivitas budidaya perikanan disinyalir ikut memberikan kontribusi terjangkitnya penyakit pada ikan di perairan umum sebagai akibat adanya interaksi antara lingkungan, inang (ikan), dan patogen (penyakit). Contoh kasus penyakit bintik putih (*Ichthyophthirius multifiliis*) yang awalnya berjangkit pada ikan *guppy* (1932) telah menjadi penyakit endemik pada ikan lainnya. Pada ikan dan biota laut lainnya, penyakit pada umumnya disebabkan oleh virus, bakteri, dan parasit.

Penyakit, utamanya disebabkan oleh bakteri, juga mengancam kesehatan ekosistem terumbu karang. Kematian masal karang *elkhorn* (*Acropora palmata*) dan *staghorn* (*A. cervicornis*) di Karibia terjadi akibat serangan penyakit *White Band Disease* (WBD) dan *White Pox*.

Di Indonesia, karang di Karimunjawa (2006) dan Pulau Barrang (Lampokota-Makassar, 2014) menderita *Black Band Disease* (BBD) yang dicirikan adanya cincin gelap yang memisahkan jaringan karang sehat dengan rangka karang mati (Gambar 78). BBD umumnya disebabkan oleh bakteri dari kelompok Cyanobacteria, antara lain *Phormidium corallyticum* (Richardson and Kuta, 2003), yang menyerang karang non-*Acropora* di mana bakteri memproduksi senyawa sulfida yang berakumulasi dan menyebabkan kematian karang yang diserang.

Gambar 78. Serangan penyakit *Black Band Disease* (BBD) pada karang otak (masif). Bagian yang hitam adalah daerah yang terjangkit bakteri di mana mereka mengkonsumsi polip karang. Bagian yang putih adalah bagian yang sudah tidak memiliki polip karena sudah dikonsumsi oleh bakteri. Karang yang mati akan mudah ditumbuhi oleh alga dan membuka peluang ruang dimanfaatkan oleh spons (*sponges*).



Banyak jenis penyakit lain yang menyerang koloni karang seperti *White Plague*, *Yellow-Blotch/ Yellow-Band Disease* (YBD), *Dark Spots Disease*, dan *Red Band Disease*. Jenis penyakit *White Plague* dibedakan dengan angka Romawi menunjukkan agen bakteri penyebab penyakit yang berbeda, misalnya *White Plague I* disinyalir disebabkan oleh bakteri kokoid putih tidak teridentifikasi sedangkan *White Plague II* disebabkan oleh bakteri *Aurantimonas corallicida* (Levinton, 2014). YBD disebabkan oleh kelompok bakteri *Vibrio* (Cervino *et al.*, 2008).

I. *Biopiracy*

Biopiracy merupakan istilah yang muncul belakangan ini berkenaan dengan pencurian hak cipta/kepemilikan terkait keragaman hayati, manakala terjadi eksploitasi secara komersial tanpa mengindahkan etika dan hukum terhadap materi biologi milik suatu negara atau kawasan tertentu, tanpa adanya kompensasi finansial bagi negara atau penduduk setempat. Istilah lain yang sering digunakan adalah *bioprospecting*. Dalam skala lebih besar, pihak yang berhak atas kepemilikan keragaman hayati di suatu lokasi adalah negara. Dalam skala kecil, terkait sains, pihak yang berhak atas, misalnya penemuan spesies baru, adalah peneliti negara bersangkutan yang terlibat dalam proses penemuan tersebut. Klaim penemuan spesies baru oleh peneliti dari negara asing merupakan salah satu dampak dari *biopiracy*.

Secara lebih khusus *biopiracy* merujuk pada klaim paten suatu zat aktif dari tumbuhan dan hewan di lokasi tertentu yang membatasi pemanfaatan zat aktif tersebut untuk kepentingan umum di lokasi tersebut. *Convention on Biological Diversity* (dibahas tersendiri di akhir bab ini) merupakan salah satu upaya dunia membatasi praktek *biopiracy*. Salah satu cara nyata menghindari klaim paten dari seseorang atau lembaga komersial adalah mendaftarkan informasi genetik dari susunan gen dimaksud pada bank genetik domain umum dan mempublikasikannya secara terbuka. Dengan demikian, informasi genetik, zat aktif, atau spesies tersebut tidak dapat diklaim karena tidak memenuhi unsur perbedaan dari yang sudah ada dan unsur kebaruan, yang merupakan syarat suatu paten.

4.1.2 Konflik

Konflik biodiversitas adalah perselisihan kedua belah pihak atau multipihak terhadap fenomena dampak yang ditimbulkan dari pemanfaatan sumberdaya keragaman hayati. Fenomena ini muncul pada saat aksi perebutan sumberdaya berdampak pada pendapatan masyarakat atau dengan kata lain telah menyinggung masalah perekonomian serta akses pada sumberdaya keragaman hayati tersebut. Konflik dapat pula muncul sebagai akibat dari penerapan kebijakan baru, antara pemerintah dengan masyarakat atau dengan pemangku kepentingan lainnya. Pada masa lampau atau bahkan saat ini, konflik biodiversitas terkadang berujung pada peperangan yang berkepanjangan dan menyisakan dampak langsung dan tidak langsung dan dengan durasi waktu singkat dan jangka panjang.

4.2 Kelangkaan dan kepunahan

4.2.1 Kelangkaan (*Rarity*)

Spesies normal adalah suatu jenis organisme yang memiliki jumlah populasi yang cukup untuk kelangsungan hidupnya; istilah ini digunakan sebagai lawan istilah spesies yang terancam punah. Sementara spesies langka adalah sekelompok organisme yang sangat jarang, langka, atau jarang ditemukan lagi dalam kurun waktu tertentu, yang disebabkan oleh beberapa faktor, apakah karena migrasi, populasi menurun akibat eksploitasi yang berlebihan atau terjadi kematian massal akibat pengaruh alam atau akibat aktivitas manusia.

Kelangkaan (*rarity*) mengacu pada kondisi suatu spesies yang jumlah individunya sudah kurang dari 10.000 ekor. Namun istilah ini tidak merepresentasikan spesies endemik yang memiliki sebaran yang sempit pada habitat spesifik (laguna, gua lautan). Namun demikian, Dinerstein (2013) mengestimasi bahwa sekitar 75 persen spesies yang telah dideskripsi saat ini dapat diklasifikasi spesies langka. Di sisi lain, IUCN menggunakan istilah langka (*rare*) pada spesies yang hidup pada habitat yang terisolasi dan dalam ruang yang sempit.

Spesies yang langka akibat perburuan atau eksploitasi yang berlebihan dapat berakibat fatal pada kelangsungan generasinya, dan dapat mengancam terputusnya mata rantai atau ketiadaan sumberdaya hayati untuk dimanfaatkan/dikonsumsi oleh manusia.

Spesies yang langka akibat pemanfaatan atau memang secara alamiah memiliki populasi yang kecil (e.g Coelacanth), mendapatkan perlindungan dari negara, di mana pemerintah menerbitkan beberapa peraturan tentang perlindungannya, diantaranya:

- ❖ Keputusan Menteri Pertanian No. 214/Kpts/Um/5/1973 Tentang Larangan Pengeluaran Beberapa Jenis Hasil Perikanan Dari Wilayah Republik Indonesia Ke Luar Negeri
- ❖ Undang-Undang Nomor 5 tahun 1990 tentang Konservasi Sumber daya alam hayati dan ekosistemnya
- ❖ Peraturan Pemerintah (PP) No. 7 Tahun 1999. Pengawetan Jenis Tumbuhan Dan Satwa
- ❖ Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 1999 Tentang Pemanfaatan Jenis Tumbuhan dan Satwa Liar, yang terbatas pada pelayanan perizinan perdagangan internasionalnya.
- ❖ Undang-Undang Nomor 27 tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.
- ❖ Undang-Undang No. 31 tahun 2004 tentang Perikanan sebagaimana telah diubah menjadi Undang-Undang No. 45 Tahun 2009,
- ❖ Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor KEP.59/MEN/2011 tentang Penetapan Status dan Perlindungan Terbatas Jenis Ikan Terubuk.
- ❖ Peraturan Pemerintah No. 60 tahun 2007 tentang Konservasi Sumber Daya Ikan
- ❖ Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: 18/KEPMEN-KP/2013 tentang Penetapan Status Perlindungan Penuh Ikan Hiu Paus (*Rhincodon typus*)
- ❖ Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 37 Tahun 2013 tentang Penetapan Status Perlindungan Terbatas Ikan Napoleon

- ❖ Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: 59/PERMEN-KP/2014 Perubahan Atas Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 59/PERMEN-KP/2014 tentang Larangan Pengeluaran Ikan Hiu Kobi (*Carcharhinus longimanus*) dan Hiu Martil (*Sphyrna spp.*) dari Wilayah Negara Republik Indonesia ke Luar Wilayah Negara Republik Indonesia
- ❖ Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 4 Tahun 2014 tentang perlindungan ikan pari.
- ❖ Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 21/PERMEN-KP/2014 Tentang Larangan Pengeluaran Ikan Hias Anakan Ikan Arwana, Benih Ikan Botia Hidup dan Ikan Botia Hidup Dari Wilayah Negara Republik Indonesia Ke Luar Wilayah Negara Republik Indonesia
- ❖ Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 46/KEPMENKP/2014 tentang Penetapan Status Perlindungan Terbatas Bambu Laut (*Isis spp.*)

4.2.2 Kepunahan (*extinction*)

Kepunahan adalah hilangnya secara totalitas suatu spesies atau kelompok spesies dalam durasi waktu tertentu. Titik waktu kepunahan suatu spesies ditandai dengan matinya individu terakhir dari spesies tersebut. Pada beberapa kasus spesies tertentu yang memiliki area distribusi yang luas, kepunahan sangat sulit dideteksi atau dianalisis, dan pada beberapa kasus pula, spesies yang telah dianggap punah ternyata ditemukan kembali (*rediscovery*).

Secara histori, bumi beserta biodiversitasnya telah mengalami lima kali *major extinction*, di mana 99 persen dari 5 miliar spesies yang pernah hidup di Bumi, diperkirakan telah punah. Kelima *major extinction events* tersebut adalah (McGhee *et al.*, 2011):

- ❖ *End Ordovician* (439 juta tahun lalu/mya) telah memusnahkan 60 persen invertebrata laut
- ❖ *Late Devonian*, 367 mya, telah memusnahkan 57 persen invertebrata laut
- ❖ *End Permian*, 245 mya, telah memusnahkan 82 persen invertebrata laut
- ❖ *End Triassic*, 208 mya, telah memusnahkan 53 persen invertebrata laut
- ❖ *End Cretaceous*, 65 mya, telah memusnahkan 47 persen invertebrata laut

Kepunahan saat ini sangat berbeda dengan sejarah kepunahan spesies pada masa lampau yang diakibatkan oleh gempa bumi, gunung meletus, dan sebagainya sebagai efek dari dinamika geologis. Namun, saat ini, kepunahan dominan disebabkan oleh aktivitas manusia.

Untuk mencegah terjadinya kepunahan, khususnya pada spesies-spesies yang dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat atau karena status alamiahnya memiliki ukuran populasi yang kecil dan merupakan spesies ikonik dan purba (*relict*), pemerintah berupaya memberikan perlindungan sebagai spesies yang terancam punah.

4.3 *Hotspot* Keanekaragaman Hayati Laut (*Marine Biodiversity Hotspot*)

Hotspot keanekaragaman hayati (*Biodiversity Hotspot*) adalah wilayah biogeografis yang merupakan *reservoir* keanekaragaman hayati yang signifikan akan tetapi terancam punah, terutama oleh ulah manusia. Istilah *hotspot* keanekaragaman hayati secara umum digunakan di wilayah terestrial dan secara khusus mengacu pada 25 wilayah yang kaya secara biologis di seluruh dunia yang telah kehilangan setidaknya 70 persen habitat aslinya. Habitat alami yang tersisa di *hotspot* keanekaragaman hayati ini berjumlah hanya 1,4 persen dari permukaan daratan di planet ini, namun mendukung sekitar 60 persen spesies tanaman, burung, mamalia, reptil, dan amfibi yang ada di dunia.

4.3.1 Kategori *Hotspot*

Top *hotspot* menurut Conservation International (CI) 2005 terbagi ke dalam empat kategori, yaitu (1) *Hotspot* Kontinen (*Continental hotspots*) yaitu bentang benua yang luas dengan kekayaan keanekaragaman hayati sangat tinggi; (2) *Hotspot* Pulau Besar (*Large or continental island*) yaitu pulau besar dengan keanekaragaman hayati dengan banyak jenis yang nyata berbeda termasuk hal-hal yang bersejarah; (3) *Hotspot* Pulau Kecil (*Small island*) yaitu pulau kecil yang memiliki keragaman jenis yang rendah akan tetapi tinggi proporsi endemik sehingga berada pada resiko besar terancam punah karena menempati luas daratan yang kecil; (4) *Hotspot* laut (*marine hotspot*).

Berdasarkan kategori di atas, kategori (1) hingga (3) tergolong sebagai *hotspot* daratan (terestrial). Hingga saat ini telah diidentifikasi 34 *hotspot* terestrial di seluruh dunia di mana dua di antaranya yaitu Sundaland dan Wallacea, dapat dijumpai di Indonesia. Dibandingkan dengan kerabat *hotspot* terestrial, hingga kini baru ditetapkan 11 *hotspot* laut di seluruh dunia di mana dua di antaranya terdapat di Indonesia yaitu Sundaland Islands dan Wallacea. Ironis dengan luas perairan yang 70 persen menutupi planet bumi, terdapat beberapa kendala yang menyebabkan penetapan *hotspot* laut tidak sebanyak *hotspot* terestrial diantara adalah keterbatasan menghadirkan analisis *hotspot* dan kajian terkait ekosistem lebih didasarkan pada terumbu karang dan terkonsentrasi di daerah tropis sehingga belum mencakup keseluruhan ekosistem laut. Kajian terkait penetapan *hotspot* laut masih terus dijalankan dengan dukungan pendanaan yang lebih besar untuk dapat meliputi tipe ekosistem lainnya selain terumbu karang seperti laut dalam disertai luas wilayah yang lebih luas termasuk di daerah beriklim sedang.

4.3.2 Ancaman dan Dampak Terhadap *Hotspot* Laut

Indonesia terletak di jantung 'Segitiga Karang' dunia, memiliki keanekaragaman ikan karang dan spesies karang terkaya yang tercatat di dunia dan merupakan pusat global keanekaragaman hayati laut air dangkal

tropis (Veron *et al.*, 2009; Allen dan Erdmann, 2009, 2012). Aneka bentang laut di Indonesia mencakup beragam habitat, yang dangkal yang sangat tertutup, hingga pinggiran dangkal, penghalang, laguna dan terumbu karang, hingga pantai yang didominasi hutan bakau, sungai, dan ceruk. Bentang laut di Indonesia juga termasuk habitat kritis bagi spesies laut yang terancam punah. Batas-batas bentang laut seperti di Kepala Burung Papua terlihat memiliki integritas biogeografis, konektivitas kelautan dan genetik antara kawasan terumbu, karakteristik ekologis bersama dan faktor lingkungan yang dapat menjelaskan bagaimana distribusi spesies terjadi (Green and Mous, 2008). Skala geografis bentang laut (selain bagian daratan) dikaji karena kepraktisannya untuk strategi konservasi laut, terutama desain dan implementasi jaringan kawasan konservasi laut (KKL) sehingga dapat adopsi oleh enam negara di kawasan Segitiga Terumbu Karang: Indonesia, Timor-Leste, Filipina, Malaysia, Papua Nugini, dan Kepulauan Solomon (*Coral Triangle Initiative*, 2009).

Selama beberapa dekade terakhir, masalah lingkungan dalam *marine hotspot* di Indonesia telah menerima perhatian yang nyata dari pemerintah pusat dan daerah, serta organisasi non-pemerintah (LSM). Ketertarikan ini telah didorong oleh keragaman yang tinggi di wilayah ini dan kekhawatiran yang muncul tentang dampak peningkatan yang cepat dalam pembangunan terutama di kawasan Sahul, yang sementara ini belum masuk dalam kategori *marine hotspot*, karena habitatnya relatif masih alami dan belum terganggu karena pengaruh manusia. Para ilmuwan, pemerintah, dan LSM telah melakukan studi biologi, sosial, ekonomi, dan termasuk pemerintahan untuk mendukung upaya kebijakan, konservasi, dan pembangunan berkelanjutan di kawasan ini. Kajian *marine hotspot* ini adalah untuk mensintesis dan mengidentifikasi jenis pemanfaatan yang ada dan ancaman yang muncul semakin meningkat di Sunda dan *Wallacea marine hotspot*, berikut pengaruhnya ke wilayah paparan Sahul yang relatif masih asli di bagian timur Indonesia. Sejarah eksploitasi yang tidak berkelanjutan - baik legal maupun ilegal terhadap sumberdaya alam, yang sering didorong oleh praktik pembangunan yang tidak bertanggung jawab, dan laju pertumbuhan populasi manusia yang relatif cepat di kawasan barat dan tengah Indonesia akan semakin mengancam kesehatan ekosistem laut di Sunda dan *Wallacea marine hotspot*, juga komunitas lokal.

Bagian berikut memberikan ringkasan penggunaan sumberdaya dan ancaman terhadap ekosistem pesisir dan laut di Sunda dan *Wallacea marine hotspot*.

a. Perikanan

Perikanan menyediakan sumber pendapatan dan makanan utama bagi masyarakat pesisir sepanjang *marine hotspot* di Indonesia. Penangkapan ikan di daerah Sunda dan Wallacea lebih cenderung bersifat komersial

sedangkan di paparan Sahul lebih bersifat subsisten tradisional - terutama menggunakan alat tangkap sederhana seperti pancing tangan dengan sampun kecil - adalah salah satu bentuk penangkapan ikan sebelum tahun 1960-an dan masih dipraktekkan secara luas hingga saat ini. Pengenalan perikanan komersial - baik legal maupun ilegal - pada 1960-an di Sunda dan *Wallacea marine hotspot* membawa penurunan cepat dalam sumberdaya perikanan karena eksploitasi berlebihan (Palomares *et al.*, 2007; Larsen, 2018). Pengenalan metode penangkapan ikan yang merusak seperti penggunaan bom, sianida, dan kompresor pada 1980-an lebih lanjut berkontribusi pada penurunan sumberdaya perikanan. Pada 1990-an beberapa pelaku perikanan melaporkan penurunan hingga 90 persen dalam upaya tangkapan per unit (Ainsworth *et al.*, 2008).

Sementara penggunaan metode penangkapan ikan yang merusak telah dibatasi pada awal 2000-an dan kampanye tentang dampak penangkapan ikan yang merusak, iklim sosial dan ekonomi mendasar yang mempromosikan perikanan ilegal, tidak diatur, dan tidak dilaporkan (IUU) berlanjut di seluruh Indonesia (Heazle dan Butcher, 2007). Meskipun penangkapan ikan menjadi mata pencaharian utama masyarakat pesisir di *marine hotspot* di Indonesia, dirasakan masih tersedia sedikit data yang dipublikasikan terkait berapa banyak sektor ini berkontribusi terhadap ekonomi lokal dan berapa banyak dana yang dihasilkan sebagai pendapatan pajak daerah untuk pemerintah kabupaten dan provinsi. Di *hotspot* laut Indonesia, terdapat beragam basis perikanan termasuk invertebrata (teripang, kerang raksasa, lobster), perikanan jaring angkat (ikan teri, sarden dan cumi-cumi), perikanan karang (kakap dan kerapu), perikanan hiu pesisir dan pelagis, dan perikanan pelagis kecil dan besar (*mackerel*, tuna, cakalang, dan jenis *trevally*).

Perdagangan ikan karang hidup telah ada di *hotspot* laut sejak 1980-an menargetkan spesies kerapu, kakap, dan napoleon (*Cheilinus undulatus*) yang lebih besar (Sadovy dan Liu, 2004). Perikanan ini telah sangat merusak karena praktik penargetan agregasi pemijahan dan penggunaan bom (Mangubhai *et al.*, 2011, Mangubhai *et al.*, 2012). Misalnya penggunaan sianida dan kompresor oleh nelayan, telah menyebabkan penurunan cepat ikan napoleon di Raja Ampat dari tahun 1985 hingga akhir 1990-an (Sadovy dan Liu, 2004). Selama periode ini, nelayan lokal tidak bisa menghentikan orang luar menggunakan metode penangkapan ikan yang merusak.

Ikan teri ditangkap menggunakan jaring angkat (bagan) dan dalam beberapa kasus ukuran mata jaring sangat halus sehingga hasil tangkapan terutama terdiri dari individu muda. Perikanan yang tidak diatur ini menghasilkan ratusan ton ikan yang dikeringkan untuk konsumsi manusia atau digunakan sebagai umpan hidup untuk perikanan tuna. Jenis operasi ini umum terjadi di seluruh Indonesia dan sebagian besar dioperasikan oleh nelayan dari Sulawesi atau bagian lain Indonesia. Selain hilangnya potensi pendapatan bagi pemerintah daerah, efek dari panen tidak teratur dari rantai makanan kemungkinan akan berdampak tidak hanya pada produktivitas

spesies mangsa yang lebih besar seperti tuna tetapi juga spesies yang terancam punah seperti paus yang sering bermigrasi.

Secara keseluruhan, tersedia sedikit informasi tentang tren perikanan saat ini dengan hampir semua perikanan beroperasi karena kurangnya informasi penting tentang stok, sedikit peraturan manajemen dan penegakan hukum yang bersifat sporadis. Perikanan pelagis di bagian utara Kepala Burung dan perikanan udang di bagian selatan sudah dianggap terlalu dieksploitasi (*overfishing*) oleh pemerintah Indonesia. Sementara terdapat minat yang tumbuh dalam menerapkan pendekatan berbasis ekosistem (Ecosystem Approach for Fisheries Management, EAFM) untuk pengelolaan perikanan di Indonesia, konsep ini masih relatif baru dan belum tersedia variasi sebagai contoh bagaimana cara terbaik menerapkan model ini.

b. Pariwisata

Dalam beberapa dekade terakhir telah terjadi perluasan dramatis wisata bahari di Indonesia seperti contohnya di *hotspot* Sunda (Bangka Belitung, Kepulauan Seribu dan Karimunjawa), *hotspot* Wallacea (Bunaken dan Wakatobi), dan juga di wilayah Sahul (Raja Ampat). Raja Ampat kini telah mengembangkan reputasi sebagai salah satu tujuan penyelaman terbaik di dunia saat ini (Jones *et al.*, 2011). Di Raja Ampat, industri pariwisata telah berkembang dari jumlah resor selam tunggal dan satu kapal yang mengunjungi daerah tersebut pada tahun 2001 (sekitar 300 tamu/tahun) menjadi 12 resor, puluhan *homestay* lokal dan lebih dari 50 kapal *live aboard* yang melayani lebih dari 20.000 pengunjung per tahun pada tahun 2018. Untuk memastikan manfaat bagi perekonomian lokal, pemerintah Kabupaten Raja Ampat mengembangkan sistem biaya masuk pariwisata pada tahun 2007. Sebesar 30 persen dari pendapatan utama digunakan oleh pemerintah untuk manajemen pariwisata, sementara sisa 70 persen sebagai dana konservasi dan program pengembangan masyarakat di 135 kampung di Raja Ampat. Pemerintah Raja Ampat memberlakukan undang-undang pada bulan Juli 2011 untuk membangun sistem perizinan wisata bahari pertama di Indonesia, menetapkan batas atas 40 kapal *live aboard*, dan 20 izin resor selam untuk kabupaten tersebut, sementara juga menetapkan persyaratan kuat untuk pembangunan resor dan lingkungan yang sensitif, dan mempekerjakan masyarakat lokal dalam operasi pariwisata. Baik pemerintah provinsi Papua Barat dan pemerintah Kabupaten Raja Ampat kini secara eksplisit mengakui pariwisata bahari sebagai salah satu sektor unggulan utama untuk pembangunan ekonomi kabupaten, dan sektor ini semakin memberikan manfaat bagi masyarakat lokal tidak hanya melalui pendapatan dari biaya masuk, tetapi juga melalui pekerjaan langsung di resor, penginapan lokal, dan di kapal wisata selam serta menyediakan pasar untuk penjualan kerajinan tangan dan ikan, buah-buahan, dan sayuran yang dipanen oleh anggota masyarakat (Mangubhai *et al.*, 2012).

c. Penambangan Minyak, Gas, dan Mineral

Indonesia kaya akan sumber daya minyak, gas, dan mineral. Produk tambang utama seperti minyak dan gas terletak di kawasan timur Indonesia (Sahul). Tambang yang paling kontroversial di Indonesia Timur adalah tambang emas dan tembaga Grasberg yang beroperasi terbuka dan saat ini sebagai yang terbesar di dunia, yang dimiliki oleh Freeport Indonesia, menyediakan hampir 50 persen dari PDB Provinsi Papua dan merupakan pembayar pajak terbesar bagi pemerintah Indonesia (Resosudarmo dan Jotzo, 2009). Perusahaan ini bertanggung jawab atas pembuangan 125.000 ton/hari *tailing* tambang ke Sungai Ajkwa (Brunskill *et al.*, 2004), dan kerusakan lingkungan yang terkait. Meskipun tambang mineral di Indonesia umumnya relatif lebih kecil, perusahaan ini sering beroperasi tanpa kontrol yang tepat terhadap limpasan penggalian, dan dengan sedikit atau tanpa tanggung jawab sosial. Pemerintah pusat berkomitmen untuk meningkatkan produksi hidrokarbon untuk memenuhi target 960.000 barel/hari. Kebijakan pemerintah sedang direvisi untuk mendorong ekspansi eksplorasi dan produksi minyak dan gas yang cepat di seluruh kepulauan Indonesia, termasuk Selat Makassar, Laut Seram Utara, Halmahera, dan Papua. Kontrak dapat dikeluarkan untuk perusahaan lokal atau perusahaan asing untuk beroperasi di wilayah penambangan yang telah dialokasikan oleh pemerintah pusat. Saat ini, proyek gas terbesar 'Tangguh - *Liquefied Natural Gas*' diposisikan untuk mengekstraksi gas alam dari ladang di kawasan Teluk Bintuni untuk diekspor ke negara-negara di luar Indonesia.

Eksplorasi minyak dan gas telah meningkat di paparan Sahul. Sejak awal 2010, setidaknya empat kapal telah melakukan survei seismik untuk deposit minyak dan gas dasar laut di Raja Ampat. Kapal-kapal besar khusus ini menarik kabel yang menembakkan ledakan gelombang suara di dasar laut untuk menguraikan formasi dan struktur geologi yang sedang berlangsung. Dampak potensial dari survei seismik yang tidak diatur termasuk gangguan pada jenis fauna laut yang bermigrasi seperti *cetacea* dan penyu (McCauley *et al.*, 2000), efek mematikan pada ikan dewasa, larva ikan atau telur ikan (Hirst dan Rodhouse, 2000), dan dampak negatif terhadap perikanan (Skalski *et al.*, 1992; Hirst dan Rodhouse, 2000). Meskipun kapal-kapal tersebut memiliki lisensi dari pemerintah pusat, survei dilakukan dalam jarak 4 mil laut dari pantai dan terjadi tanpa persetujuan pemerintah provinsi atau kabupaten, dan tanpa konsultasi publik atau kepatuhan terhadap standar internasional. Masalah ini menyoroti kurangnya koordinasi antara pemerintah nasional, provinsi, dan kabupaten dalam sektor energi.

d. Penebangan Hutan dan Pembangunan Daerah Pesisir

Penebangan hutan (deforestasi) dan pembangunan di daerah pantai telah meningkat selama beberapa dekade terakhir di Indonesia, dan mengarah pada dampak yang belum terukur, tetapi tetap dapat diamati pada daerah aliran

sungai, garis pantai, dan lingkungan laut. Tanah yang sangat mudah tererosi, lereng yang sangat curam, dan curah hujan yang tinggi menjadikan habitat pesisir (khususnya terumbu karang dangkal) lebih rentan terhadap kerusakan dari kegiatan yang terjadi di darat. Dampak deforestasi dan pembangunan pesisir yang tidak terencana termasuk: (a) limpasan tanah lapisan atas ke pantai dan habitat laut yang menyebabkan pembekuan komunitas karang dan sedimen lunak; (b) hilangnya hutan bakau karena konstruksi jalan dan penebangan; (c) hilangnya habitat kritis secara langsung terjadi seperti spesies yang terancam (misalnya penyu hijau, penyu sisik, penyu belimbing, buaya muara, dan bahkan burung seperti burung Cendrawasih (*Cicinnurus respublica Wilson*) melalui modifikasi pantai dan pemindahan vegetasi pantai; (d) hilangnya terumbu karang secara langsung melalui reklamasi; (e) mengubah profil salinitas dan suhu di muara sungai karena aliran air yang terputus pada saat musim kemarau; dan (f) pengenalan spesies invasif ke hutan. Mengingat skala dan keterpencilan banyak wilayah di Indonesia, banyak dampak atau hilangnya keanekaragaman hayati cenderung tidak terdokumentasi.

e. Perubahan Iklim

Selain ancaman antropogenik, wilayah pesisir dan laut di Indonesia terancam oleh kombinasi dampak perubahan iklim - peningkatan frekuensi dan suhu permukaan laut (SST) yang meningkat dan kejadian cuaca ekstrem, kenaikan permukaan laut, dan pengasaman laut. Diperkirakan kenaikan permukaan laut di Indonesia akan menghasilkan peningkatan erosi pantai, genangan dan perpindahan lahan basah dan dataran rendah pantai, peningkatan kerusakan banjir dan badai, dan intrusi air asin ke sumber air tawar (Klein dan Nicholls, 1999). Selain itu hampir semua pantai peneluran penyu yang penting di Indonesia telah mengalami erosi pantai yang signifikan selama 10 tahun terakhir, yang menyebabkan kegagalan menetas dan kematian ribuan telur penyu.

Hingga saat ini, *hotspot* laut Sunda dan Wallacea telah mencatat peristiwa pemutihan karang yang parah yang disebabkan oleh SST yang ekstrim, terkecuali di paparan Sahul. Besaran dan frekuensi kejadian tekanan thermal yang cukup ekstrim untuk menyebabkan pemutihan (*bleaching*) diperkirakan akan meningkat lebih dari dua kali lipat selama 100 tahun ke depan (McLeod *et al.*, 2010). Mengingat ketergantungan masyarakat lokal pada perikanan dan sumberdaya pesisir lainnya, termasuk air tanah untuk konsumsi dan irigasi tanaman, dampak perubahan iklim yang diakibatkan oleh kenaikan permukaan laut dan tekanan panas serta pencucian dan kematian terumbu karang terkait mungkin akan mempengaruhi mata pencaharian dan ketahanan pangan masyarakat lokal di masa depan.

4.4 Kebijakan dan Rencana Aksi

Daerah pesisir saat ini tengah berjuang mengikuti perubahan lingkungan, sosial, dan ekonomi yang cepat. Masyarakat lokal dan ekonomi regional sangat bergantung pada sumber daya alam untuk industri seperti perikanan, pertambangan, kehutanan, minyak dan gas, budidaya laut dan pariwisata. Namun, kegiatan tertentu yang terkait dengan industri ini juga turut mengancam keanekaragaman hayati dan kesehatan ekosistem laut dan darat. Konservasi keanekaragaman hayati semakin menjadi masalah ekonomi yang semakin penting, di mana kesejahteraan akan tergantung pada kebijakan dan manajemen yang mendukung industri yang berkelanjutan untuk kepentingan masyarakat lokal dan melindungi keanekaragaman hayati yang luar biasa.

Daerah pesisir berada pada titik kritis di mana pemerintah daerah membutuhkan saran teknis yang kuat dan peningkatan kapasitas untuk menyeimbangkan kembali tekanan pembangunan dengan pengelolaan berkelanjutan sumberdaya pesisir dan laut terutama di *hotspot* laut Sunda dan Wallacea. Walaupun kapasitas untuk mengelola sumberdaya laut perlahan-lahan meningkat melalui upaya gabungan pemerintah pusat, daerah, LSM, dan para pemangku kepentingan, dirasakan masih dibutuhkan dukungan dalam mengembangkan pengelolaan sumberdaya pesisir dan laut yang efektif dan berkelanjutan. Fokus saat ini pada peningkatan kapasitas staf pemerintah dalam manajemen kelautan (yang terkait dengan program nasional yang lebih besar oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan untuk membangun pusat pelatihan Kawasan Konservasi Laut, KKL, di seluruh Indonesia) menjadi sangat penting. Di paparan Sahul Papua dengan jumlah penduduk yang rendah, sumberdaya alam yang relatif sehat, dan sistem penguasaan yang kuat, memberikan peluang nyata bagi pemerintah dan masyarakat setempat untuk mengelola sumberdaya secara berkelanjutan, memastikan ketahanan pangan jangka panjang, sembari memenuhi aspirasi pembangunan.

Jejaring KKP atau KKL dipandang sebagai alat utama untuk mengatasi ancaman terhadap *hotspot* laut terumbu karang Indonesia yang lebih buruk dan untuk berkontribusi pada konservasi keanekaragaman hayati dan perikanan berkelanjutan (*Coral Triangle Initiative*, 2009). Sejarah identifikasi kawasan laut kritis untuk perlindungan dan pengelolaan pertama kali dimulai pada awal 1980-an, sebagian besar diprakarsai oleh WWF/IUCN, dan diikuti oleh sejumlah program konservasi yang berfokus pada pemberdayaan masyarakat dalam menerapkan manajemen sumberdaya laut. Sejak itu, inisiatif konservasi telah tumbuh dan saat ini terdapat luasan total >20.000.000 ha luas kawasan lindung laut di Indonesia. Selain itu, banyak masyarakat pesisir di Indonesia timur masih menerapkan sistem tradisional pengelolaan sumberdaya alam di darat dan di laut, disebut 'sasi'. Di laut, *sasi* paling sering melibatkan penutupan sementara sumberdaya perikanan tertentu (seperti teripang dan lobster) atau daerah perikanan untuk periode mulai dari 6 bulan hingga 5 tahun (McLeod *et al.*, 2009). Sejauh mana *sasi* dan praktik adat

berorientasi konservasi lainnya dihormati masih bervariasi dari kepatuhan penuh hingga tidak dihargai. Mayoritas KKL di Indonesia telah didirikan dan ditetapkan sebagai '*bottom up*' melalui deklarasi adat dan peraturan kabupaten adat masyarakat, dan diperkuat oleh hukum nasional. Khusus di Papua, KKL mengintegrasikan praktik-praktik tradisional seperti *sasi* ke dalam zonasi dan pengelolaan KKL, dan mengembangkan struktur pengelolaan bersama yang memungkinkan masyarakat untuk secara aktif turut berperan.

Sejak 2007, pasca disahkannya undang-undang terkait perencanaan tata ruang (UU 26/2007) dan pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (UU 27/2007), Pemerintah Indonesia telah menyediakan kerangka hukum untuk membentuk kembali proses perencanaan tata ruang dan mencapai lebih banyak perencanaan kota dan pedesaan yang efektif dan terpadu dan pengembangan sektoral, dan memungkinkan sinergi yang lebih besar antara rencana tata ruang yang dikembangkan di kabupaten, provinsi, dan di tingkat nasional untuk pembangunan pantai, perikanan, perencanaan tata ruang, dan manajemen spesies untuk diselaraskan dengan prinsip-prinsip 'manajemen berbasis ekosistem' dan mengakui harmonisasi ekosistem, masyarakat, dan peluang ekonomi yang saling terkait.

4.5 Strategi Kebijakan Pelestarian dan Pengelolaan Biodiversitas Laut

Secara konstitusionalitas, penguasaan sumber daya alam oleh negara, sebagaimana diatur dalam UUD 1945 tidak dapat dipisahkan dengan tujuan dari penguasaan tersebut, yaitu guna mewujudkan sebesar-besar kemakmuran rakyat. Keterkaitan penguasaan oleh negara untuk kemakmuran rakyat, menurut Bagir Manan akan mewujudkan kewajiban negara dalam hal: a. Segala bentuk pemanfaatan (bumi dan air) serta hasil yang didapat (kekayaan alam), harus secara nyata meningkatkan kemakmuran dan kesejahteraan masyarakat; b. Melindungi dan menjamin segala hak-hak rakyat yang terdapat di dalam atau di atas bumi, air, dan berbagai kekayaan alam tertentu yang dapat dihasilkan secara langsung atau dinikmati langsung oleh rakyat; c. Mencegah segala tindakan dari pihak manapun yang akan menyebabkan rakyat tidak mempunyai kesempatan atau akan kehilangan haknya dalam menikmati kekayaan alam.

Semangat yang dibawa undang-undang perubahan tersebut sama dalam konteks pelestarian lingkungan. Selain itu, judul undang-undang mengalami perubahan pula hingga yang terakhir terkandung spirit perlindungan dan spirit pengelolaan. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 mengatur keterpaduan sebagai pedoman dalam penerbitan, pelaksanaan dan pengawasan izin bidang lingkungan hidup. Selain itu, Undang-Undang Nomor 32/2009 juga disebut sebagai undang-undang payung (*umbrella law*) atau perundang-undangan lingkungan hidup yang umum (*general environmental law*). Instrumen-instrumen tersebut memuat hal-hal yang utuh dan menyeluruh berkaitan

dengan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Undang-undang payung tersebut dapat diartikan memayungi kebijakan pengaturan (undang-undang) yang bersifat sektoral.

Status Perdagangan (CITES)

Convention on International Trade in Endangered Species (CITES) of Wild Fauna and Flora adalah perjanjian internasional atau *traktat* global yang fokus pada perlindungan spesies tumbuhan dan satwa liar yang sedang diperdagangkan secara internasional, atau fokus pada tindak eksploitasi yang tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku yang dapat mengancam kelestarian flora maupun fauna tersebut (Bangun & Pahlawan, 2014).

Tujuan pembentukan CITES untuk mengatur perdagangan lintas batas pada spesies dan turunan spesiesnya melalui sistem perizinan dan sertifikasi, sekaligus memastikan bahwa perdagangan tersebut sesuai dengan prinsip-prinsip keberlanjutan (Abensperg, 2009).

Lembaga CITES dibentuk pada tahun 1973 dengan tugas pokok mengatur perdagangan spesimen internasional spesies tertentu dan dengan kontrol tertentu pula. Semua kegiatan impor, ekspor, ekspor ulang dan introduksi ribuan spesies terdaftar dalam konvensi harus mendapatkan pengesahan melalui sistem perizinan resmi. Setiap pihak pada konvensi tersebut harus menunjuk satu atau lebih Otoritas Manajemen (*Management Authority*, MA) yang bertugas mengelola sistem perizinan dan satu atau lebih Otoritas Keilmuan (*Scientific Authority*, SA) untuk memberikan laporan dan penilaian ilmiah tentang efek perdagangan pada status spesies (CITES, 2017).

Saat ini, CITES telah melindungi sekitar 5.800 spesies hewan dan 30.000 spesies tanaman dilindungi dari eksploitasi berlebihan melalui perdagangan internasional. Tiap spesies diklasifikasikan ke dalam tiga Apendiks CITES, di mana spesies dikelompokkan sesuai dengan tingkat keterancamannya. Spesies atau grup spesies yang dimasukkan ke dalam Apendiks CITES misalnya primata, cetacea (paus dan lumba-lumba), penyu, kakak tua, karang, kaktus, dan anggrek.

Apendiks CITES terbagi ke dalam 3 (tiga) klasifikasi yaitu:

- ❖ Apendiks I, memuat daftar seluruh jenis tumbuhan dan satwa liar yang dilarang dalam segala bentuk perdagangan internasional dan hanya diizinkan dalam keadaan mendesak;
- ❖ Apendiks II memuat daftar jenis yang tidak terlalu terancam punah, namun akan menjadi terancam apabila perdagangan terus berlanjut tanpa ada pengaturan;
- ❖ Apendiks III memuat daftar jenis tumbuhan dan satwa liar yang dilindungi di negara tertentu dalam batas-batas kawasan habitatnya, dan suatu saat peringkatnya bisa dinaikkan ke dalam apendiks II atau I.

Saat ini pula, CITES mencantumkan beberapa jenis hiu ke dalam Apendiks I (spesies yang terancam punah) atau apendiks II (spesies di mana perdagangannya harus diatur untuk mencegah pemanfaatan berlebihan). Di samping itu, sekitar 60 jenis hiu dan ikan pari masuk dalam daftar CITES

dengan status "rentan" atau "hampir terancam" (Camhi *et al.*, 2009). Hiu martil (*Sphyrna lewini*) merupakan salah satu jenis ikan hiu Indonesia yang termasuk ke dalam Apendiks I (Sembiring, 2015).

Jenis organisme hewan dan tumbuhan Indonesia yang masuk dalam daftar Apendiks CITES cukup banyak (Alamendah, 2011) di mana total keseluruhan grup animalia Indonesia dalam daftar Apendiks mencapai 1.548 spesies hewan dan 907 spesies tumbuhan dengan rincian sebagai berikut:

- ❖ Apendiks I sebanyak 84 spesies hewan 27 spesies tumbuhan.
- ❖ Apendiks II sebanyak 1.365 spesies hewan dan 880 spesies tumbuhan.
- ❖ Apendiks III sebanyak 9 spesies hewan.

Dalam rangka upaya nasional untuk memanfaatkan tumbuhan dan satwa secara berkelanjutan, Indonesia telah meratifikasi CITES melalui Keppres No. 43 tahun 1978. Harus diakui bahwa walaupun sudah diratifikasi dalam waktu yang cukup lama, tetapi peraturan CITES belum dapat diimplementasikan secara optimal untuk mendukung perdagangan tumbuhan dan satwa yang berkelanjutan. Peraturan CITES mengharuskan setiap negara anggota memiliki aturan di tingkat nasional yang meliputi penentuan kuota, mekanisme kontrol pengambilan tumbuhan dan satwa di alam hingga pengawasan lalu lintas perdagangannya. Indonesia pernah mendapatkan ancaman '*total trade ban*' dari sekretariat CITES karena dianggap tidak cukup memiliki peraturan nasional yang memadai yang dapat dipergunakan untuk mendukung implementasi CITES (WWF, 2005).

Terkait dengan mekanisme kerja CITES pada suatu negara, ketentuan pokok CITES mengatur bahwa pelaksanaan perdagangan internasional dilaksanakan melalui sistem permit yang dikeluarkan oleh Otoritas Pengelola CITES. Sebagai pelaksana Otoritas Pengelola CITES di Indonesia adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 8 tahun 1999. Berikut adalah isi dari ketentuan pokok CITES:

1. Pelaksanaan perdagangan internasional melalui sistem *permit* yang dikeluarkan oleh CITES *Management Authority*.
2. Apendiks I dilarang diperdagangkan, sementara A pendiks II dan III dapat diperdagangkan tetapi dengan kontrol yang ketat.
3. Representatif negara anggota CITES bertemu secara reguler (2-3 tahun sekali) dalam *Conference of the Parties (COP)* untuk melakukan *review* pelaksanaan CITES, prosedur, dan amandemen Apendiks CITES.
4. Operasional pelaksanaan CITES dikoordinasikan oleh Sekretariat CITES yang bernaung di bawah UNEP.
5. Government of Switzerland bertindak sebagai *depository for convention* (negara penampung).

Otoritas Pengelola dan Otoritas Ilmiah merupakan dua lembaga resmi yang ditetapkan oleh CITES untuk mengatur dan mengelola perdagangan jenis satwa dan tumbuhan liar dari suatu negara. Otoritas Pengelola harus

dimiliki oleh negara untuk mengelola perdagangan satwa liar baik untuk digunakan bagi keperluan dalam negeri maupun untuk perdagangan internasional. Otoritas Pengelola dalam pengelolaan perdagangan bekerjasama dengan Otoritas Keilmuan. Rekomendasi yang diberikan oleh Otoritas Keilmuan akan menjadi acuan otoritas pengelolaan dalam memberikan izin bagi perdagangan satwa dan tumbuhan liar.

Otoritas Pengelola bertanggung jawab dalam aspek administratif dari pelaksanaan CITES (legislasi, pelaksana legislasi, penegakan hukum, izin, laporan dua tahunan, komunikasi dengan institusi CITES lain), sedangkan Otoritas Keilmuan, dalam hal ini LIPI, bertanggung jawab untuk memberikan saran kepada Otoritas Pengelola mengenai non-detriment findings dan aspek-aspek ilmiah lainnya mengenai implementasi dan pemantauan perdagangan internasional, termasuk memberi usulan kuota.

Status Konservasi (IUCN *Red List*)

International Union for Conservation of Nature (IUCN) *Red List* dikenal juga sebagai daftar merah IUCN yang diperuntukkan untuk memberikan status konservasi suatu spesies dan subspecies. IUCN didirikan pada tahun 1964. Saat ini, *IUCN Red List* merupakan sistem digital inventarisasi paling komprehensif dari status konservasi secara global baik itu grup plantarum maupun animalia.

Penetapan *IUCN Red List* suatu spesies berdasarkan kriteria untuk mengevaluasi risiko kepunahan suatu spesies dan subspecies. Pesan yang ingin disampaikan oleh IUCN kepada publik yaitu status terkini suatu spesies terkait kelangsungan populasinya, status ini diarahkan kepada publik dan pengambil kebijakan. Tujuan spesifik lainnya adalah membantu masyarakat di dunia untuk mengurangi kepunahan spesies. Proses penilaian daftar merah sendiri telah berkembang secara substansial selama dasawarsa terakhir, hal ini penting untuk aktualisasi metode, cara pandang untuk tujuan perencanaan konservasi, manajemen, pemantauan, dan pengambilan keputusan.

Setiap spesies diklasifikasikan ke dalam sembilan kelompok, ditetapkan melalui kriteria seperti tingkat penurunan populasi, ukuran populasi, luasan distribusi geografis, tingkat populasi, dan fragmentasi distribusi populasinya. Sembilan kriteria *IUCN Red List* yang digunakan untuk mengevaluasi status spesies dan subspecies adalah sebagai berikut :

Punah (*Extinct* (EX)) adalah suatu konservasi spesies yang keberadaannya sudah tidak ada atau dinyatakan “punah”

1. Punah di Alam Liar (*Extinct in the Wild* (EW)) adalah suatu konservasi spesies yang keberadaan di habitat aslinya sudah tidak ada namun masih bisa dijumpai oleh orang yang memelihara organisme tersebut.
2. Kritis (*Critically Endangered* (CR)) adalah konservasi yang diberikan kepada spesies yang menghadapi risiko kepunahan di waktu dekat.
3. Genting atau Terancam (*Endangered* (EN)) adalah konservasi yang

dilakukan kepada spesies yang sedang menghadapi risiko kepunahan di alam liar pada waktu yang akan datang.

4. Rentan (*Vulnerable* (VU)) adalah konservasi yang dilakukan kepada spesies yang sedang menghadapi risiko kepunahan di alam liar pada waktu yang akan datang.
5. Hampir Terancam (*Near Threatened* (NT)) adalah konservasi yang diberikan kepada spesies yang mungkin keberadaannya terancam atau mendekati terancam kepunahan.
6. Berisiko Rendah (*Least Concern* (LC)) adalah konservasi spesies yang telah dievaluasi tetapi tidak memenuhi kriteria CR, EN, VU, maupun NT. Spesies yang tersebar luas masuk kategori ini.
7. Informasi Kurang (*Data Deficient* (DD)): Sebuah takson dinyatakan “informasi kurang” ketika informasi yang ada kurang memadai untuk melakukan penilaian langsung atau tidak langsung akan risiko kepunahannya dan status populasi.
8. Belum Dievaluasi (*Not Evaluated* (NE)); Sebuah takson dinyatakan “belum dievaluasi” ketika tidak dievaluasi untuk kriteria-kriteria di atas.

Dalam proses evaluasi data, IUCN menerima banyak masukan serta bantuan dari para ilmuwan di seluruh dunia termasuk akademisi, peneliti dari perguruan tinggi, lembaga riset, museum, dan LSM. IUCN menerapkan basis metode saintifik untuk menentukan kriteria pada suatu spesies tanpa campur tangan politik maupun kepentingan similar lainnya. Secara periodik, IUCN mengaktualisasi data spesies berdasarkan evaluasi termutakhir.

Dalam konteks Indonesia, spesies biota akuatik dalam status Kritis (*Critically Endangered* (CR)) sejumlah 11 spesies yaitu *Adrianichthys kruyti*, *Betta miniopinna*, *Betta spilotogena*, *Carcharhinus hemiodon*, *Chilatherina sentaniensis*, *Encheloclarias kelioides*, *Hampala lopezi*, *Pandaka pygmaea*, *Pristis zijsron*, *Thunnus maccoyii*, dan *Urolophus javanicus*.

Sedangkan status Genting atau Terancam (*Endangered* (EN)) sebanyak 20 spesies, Rentan (*Vulnerable* (VU)) sejumlah 103 spesies dan sembilan spesies terdaftar dalam CITES di antaranya *Hippocampus barbouri*, *Hippocampus*

Gambar 79. Perbandingan jumlah spesies dan atau subspecies baik grup Plantarum maupun Animalia yang berhasil dievaluasi, diklasifikasikan berdasarkan seri status konservasinya.



comes, *Hippocampus histrix*, *Hippocampus kuda*, *Cheilinus undulatus*, *Rhincodon typus*, *Scleropages formosus*, *Sphyrna lewini*, *Sphyrna mokarran* (Prabowo *et al.*, 2017).

International Convention on Biodiversity

Kesadaran pentingnya sumber daya hayati bagi perkembangan ekonomi dan sosial manusia mengakibatkan berkembangnya anggapan keanekaragaman hayati sebagai aset global yang sangat bernilai untuk generasi sekarang dan mendatang. Namun demikian ancaman yang disebabkan oleh aktivitas manusia terhadap spesies dan ekosistem semakin meningkat dan berlanjut pada tingkatan yang mengkhawatirkan.

Upaya yang dilakukan dunia adalah membuat perangkat hukum internasional untuk konservasi dan pemanfaatan keberlanjutan keanekaragaman hayati. Dimulai dari tahun 1988 UNEP membentuk kelompok kerja *ad hoc* untuk mengeksplorasi perlunya konvensi internasional tentang keanekaragaman hayati, pekerjaan tersebut terus berlanjut dan puncaknya pada 22 Mei 1992 melalui konferensi Nairobi terbentuk konvensi keanekaragaman hayati.

Konvensi ini merupakan bentuk komitmen dunia terhadap pembangunan berkelanjutan dan penggunaan komponen sumberdaya hayati serta pembagian manfaat yang merata dan berkelanjutan terhadap sumber daya genetik.

Indonesia sebagai salah satu dari 17 negara *megadiverse*, 2 dari 25 *hotspot* dunia, pusat agrobiodiversitas kultivar tanaman dan ternak domestik serta peringkat kedua keanekaragaman fauna setelah Brazil ikut berpartisipasi dalam menandatangani dan meratifikasi konvensi sumber daya hayati sebagai upaya untuk menjaga kekayaan sumber daya hayati.

Kerusakan dan kepunahan spesies dan keanekaragaman hayati di Indonesia disebabkan oleh perubahan habitat (degradasi dan fragmentasi), eksploitasi berlebihan, polusi, perubahan iklim, spesies asing, kebakaran hutan dan lahan, serta krisis ekonomi dan politik

Konversi hutan alam menjadi perkebunan sawit, pemanfaatan lahan mangrove untuk permukiman dan budidaya serta aktivitas penangkapan ikan yang tidak ramah (bom, racun, alat tangkap tidak selektif) dan beberapa aktivitas merusak lainnya merupakan bentuk aktivitas manusia yang berdampak terhadap kerusakan biodiversitas di Indonesia.

Indonesia telah menerbitkan sebuah rencana aksi keanekaragaman hayati untuk Indonesia sebelum meratifikasi konvensi Internasional Biodiversitas (1994). Prioritas rencana aksi tersebut adalah langkah konservasi secara *in situ* baik di dalam dan luar Kawasan lindung serta konservasi *ex situ*. Kemudian pada 2003 rencana aksi tersebut berkembang menjadi fokus lima tujuan yaitu ; (1) mendorong perubahan perilaku individu, masyarakat, lembaga, instrumen hukum untuk meningkatkan kepedulian terhadap konservasi dan pemanfaatan keanekaragaman hayati untuk kesejahteraan dan selaras dengan hukum baik nasional maupun internasional; (2) Menerapkan input ilmiah dan teknologi, dan kearifan lokal; (3) menerapkan keseimbangan antara pemanfaatan

berkelanjutan dan konservasi keanekaragaman hayati; (4) memperkuat institusi dan penegak hukum; (5) dan menyelesaikan konflik sumberdaya alam.

Sehingga, dalam upaya mengurangi laju kepunahan spesies dan mempertahankan jasa ekosistem, Perserikatan Bangsa-Bangsa mencanangkan aksi *United Nations Decade on Biodiversity 2011-2020*, yang secara berkesinambungan dibarengi dengan aksi *United Nations Decade on Ecosystem Restoration 2021-2030*.

Selain itu the *Convention on Biological Diversity* (CBD) adalah perjanjian internasional untuk memelihara keragaman hayati di muka Bumi, yang diawali di pertemuan the *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED) pada Juni 1992 di Rio de Janeiro, Brazil, dan diberlakukan mulai Desember 1993.

Sampai dengan saat ini telah dilahirkan dua protokol yaitu the *Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity*. Protokol ini merupakan perjanjian internasional mengenai pergerakan dari suatu negara ke negara lain atas *living modified organisms* (LMOs) yang merupakan hasil dari bioteknologi modern. Diadopsi pada 29 Januari 2000, protokol ini mulai diberlakukan pada 11 September 2003. Protokol berikutnya adalah the *Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity*. Protokol ini merupakan kesepakatan internasional yang bertujuan untuk berbagi manfaat yang diperoleh dari penggunaan sumber daya genetik yang adil dan seimbang. Perjanjian ini diberlakukan mulai 12 Oktober 2014.

Initiative and Network on Marine Conservation (Lembaga Kerjasama Internasional)

Pada tahun 2009, Indonesia menjadi tuan rumah the *World Ocean Conference* sekaligus menginisiasi terbentuknya *Coral Triangle Initiative* (CTI) yang beranggotakan enam negara yaitu Indonesia, Malaysia, Filipina, Papua Nugini, Timor Leste, dan Kepulauan Solomon. Dilahirkan di Manado, Sulawesi Utara, sampai dengan saat ini Sekretariat CTI juga berada di kota Manado.

Selain itu, Indonesia juga merupakan anggota dari International Coral Reef Initiative (ICRI), yang merupakan ajang kerja sama informal antara negara-negara dengan organisasi-organisasi yang berjuang untuk memelihara terumbu karang dan ekosistem terkait di seluruh dunia. Untuk periode 2018-2020, Indonesia bersama-sama dengan Australia dan Monaco dipercaya menjadi keketuaan bersama (*co-chairs*) ICRI.

Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan (IBSAP)

Dokumen *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan* (IBSAP 2015-2020) adalah upaya pemutakhiran dari versi sebelumnya IBSAP 2003-2020. Pemutakhiran ini merupakan salah satu upaya Indonesia untuk meningkatkan aksi implementasinya agar sesuai dengan arah dan target global atas mandat

decision X/2, COP 10 UNCBD, Nagoya (*Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020*).

Penyusunan dan pembaharuan dokumen BSAP 2015-2020 bertujuan untuk menghasilkan suatu dokumen yang mengikat bagi bangsa Indonesia dalam melaksanakan pembangunan nasional sesuai dengan amanah Undang-undang (UU) Nomor 5 Tahun 1994 tentang Pengesahan United Nations Convention on Biological Diversity (Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Keanekaragaman Hayati), UU Nomor 21 Tahun 2004 Tentang Pengesahan *Cartagena Protocol on Biosafety To The Convention on Biological Diversity* (Protokol Cartagena Tentang Keamanan Hayati atas Konvensi Tentang Keanekaragaman Hayati), UU Nomor 11 Tahun 2013 Tentang Pengesahan *Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from Their Utilization to The Convention on Biological Diversity* (Protokol Nagoya Tentang Akses Pada Sumber Daya Genetik dan Pembagian Keuntungan yang Adil dan Seimbang yang Timbul Dari Pemanfaatannya Atas Konvensi Keanekaragaman Hayati) dan peraturan perundangan lain yang terkait dengan pengelolaan dan pemanfaatan Kehati.

Data Kehati Marin IBSAP 2015-2020 menunjukkan bahwa klasifikasi dan keragaman jenis biota laut sebagai berikut;

1. Fauna laut 5.319 jenis
 - ❖ Ekinodermata 557 jenis
 - ❖ Polychaeta 527 jenis
 - ❖ Krustasea 309 jenis
 - ❖ Karang 450 jenis
 - ❖ Ikan 3.476 jenis
 - ❖ Mamalia 30 jenis
2. Alga 971 jenis
3. Flora 143 jenis
4. Mikroba 406 jenis

Kehati mempunyai dua nilai penting, yaitu: (i) nilai intrinsik (nilai inheren) dan (ii) nilai ekstrinsik (nilai manfaat atau nilai instrumental). Nilai intrinsik adalah nilai yang ada pada dirinya sendiri lebih menitik beratkan pada konsep filosofis tentang kehati itu sendiri. Sedangkan nilai ekstrinsik/eksternal, adalah nilai manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung dari kehati bagi manusia (Lavery *et al.*, 2003; IBSAP 2015). Sedangkan Pearce *et al.*, (2002) membagi nilai kehati menjadi: (i) Nilai guna, yaitu nilai guna langsung (barang), nilai tidak langsung (jasa); dan (ii) Nilai non-guna (non-use values). Pengelompokan nilai menurut Pearce ini akan digunakan karena lebih mudah untuk diterapkan dapat menilai manfaat kehati.

Nilai Kehati yang berguna langsung dapat terdiri dari nilai konsumtif dan produktif yang dapat berbentuk makanan, obat-obatan, material bangunan, dan serat maupun bahan bakar. Sedangkan nilai tidak langsung adalah nilai jasa lingkungan dan antara lain dapat berupa pengolahan limbah organik,

penyerbukan, regulasi iklim dan atmosfer maupun perlindungan tanaman dan siklus hara; juga nilai keindahan dari kehati dan nilai yang dimanfaatkan bersama-sama budaya dan spiritual masyarakat. Nilai non-guna terdiri atas nilai potensial/pilihan, nilai eksistensi. Nilai eksistensi merupakan nilai kehati di masa depan, karena keberadaannya akan bermanfaat untuk masa depan, meskipun secara spesifik belum diketahui pada saat sekarang. Nilai eksistensi akan memberikan kesempatan untuk generasi mendatang memperoleh pengetahuan sebagai modal kehidupan bagi generasi masa depan (IBSAP 2015).

Perkiraan nilai kontribusi ekonomi Kehati dilakukan dengan pendekatan UKNEA (2011), dimana perhitungan nilai Kehati didasarkan pada barang dan jasa yang berasal dari:

1. Jasa penyediaan (*provisioning services*) sebesar Rp. 1.680,76 triliun
2. Jasa pengaturan (*regulating services*) sebesar Rp. 372,47 triliun
3. Jasa kultural (*cultural services*) sebesar Rp. 3.134 triliun

Dalam konteks pengelolaan Kehati, diperlukan upaya pemeliharaan dan pelestarian Kehati melalui program konservasi dan pemulihan (rehabilitasi dan restorasi), sesuai dengan mandat UU No.5/1990 tentang Pelestarian Sumber Daya Hayati dan Ekosistemnya yang mengatur konservasi ekosistem dan jenis di kawasan lindung, secara intensif telah dilakukan oleh beberapa kelembagaan konservasi yang ada. Selain itu diperlukan pula pelestarian in-situ dan eks-Situ (IBSAP, 2015).

Kawasan Konservasi Perairan

Kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil Indonesia mempunyai sumber daya hayati yang tinggi. Kontribusi sumberdaya hayati pesisir saat ini terbanyak untuk memenuhi kebutuhan protein masyarakat berasal dari perikanan pesisir dan laut. Kebijakan pengembangan ekonomi padat karya dan berbasis bahan baku serta ekstraktif, menimbulkan kerusakan kawasan pesisir dan pulau kecil akibat kegiatan penambangan mineral, bahan baku konstruksi, reklamasi untuk infrastruktur baru, budidaya perikanan pesisir dan lain-lain. Kegiatan ini sangat mengancam kelestarian dan daya dukung hutan pesisir mangrove, terumbu karang, serta pulau-pulau kecil yang merupakan sumber kehidupan masyarakat pesisir sejak lama.

Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil adalah suatu proses perencanaan, pemanfaatan, pengawasan, dan pengendalian sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil antar sektor, antara pemerintah pusat dan pemerintah daerah, antara ekosistem darat dan laut, serta antara ilmu pengetahuan dan manajemen untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Wilayah pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut. Pulau Kecil adalah pulau dengan luas lebih kecil atau sama dengan 2.000 km² (dua ribu kilometer persegi) beserta kesatuan ekosistemnya. Sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil adalah sumber daya hayati, sumber daya nonhayati; sumber daya buatan, dan jasa-jasa lingkungan; sumber daya hayati meliputi ikan, terumbu karang, padang lamun, mangrove dan biota laut lain; sumber daya nonhayati meliputi pasir, air

laut, mineral dasar laut; sumber daya buatan meliputi infrastruktur laut yang terkait dengan kelautan dan perikanan, dan jasa-jasa lingkungan berupa keindahan alam, permukaan dasar laut tempat instalasi bawah air yang terkait dengan kelautan dan perikanan serta energi gelombang laut yang terdapat di wilayah pesisir.

Pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil berasaskan: a. keberlanjutan; b. konsistensi; c. keterpaduan; d. kepastian hukum; e. kemitraan; f. pemerataan; g. peran serta masyarakat; h. keterbukaan; i. desentralisasi; j. akuntabilitas; dan k. keadilan

Pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil meliputi kegiatan perencanaan, pemanfaatan, pengawasan, dan pengendalian terhadap interaksi manusia dalam memanfaatkan sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil serta proses alamiah secara berkelanjutan dalam upaya meningkatkan kesejahteraan Masyarakat dan menjaga keutuhan NKRI.

Pemanfaatan pulau-pulau kecil dan perairan di sekitarnya dilakukan berdasarkan kesatuan ekologis dan ekonomis secara menyeluruh dan terpadu dengan pulau besar di dekatnya.

Merujuk pada pasal 28 (1) disebutkan bahwa konservasi wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil diselenggarakan untuk menjaga kelestarian ekosistem pesisir dan pulau-pulau kecil, melindungi alur migrasi ikan dan biota laut lain, melindungi habitat biota laut; dan melindungi situs budaya tradisional. Melihat proyeksi ancaman potensial masa depan serta potensi keragaman hayati yang besar di kawasan pesisir, suatu strategi pendekatan program dengan upaya dukungan kepada masyarakat untuk berdaya dalam mengelola kawasan ekosistem pesisir pulau kecil perlu diambil.

Gambar 80.
Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil mengacu pada UU Nomor 27 tahun 2007 dan PermenKP 17/2008.



Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP RI)

Wilayah perairan Indonesia dikenal kaya akan sumberdaya kelautan dan perikananannya. Pewilayahan pengelolaan perikanan dilakukan untuk mempermudah pengawasan dan pengelolaan perikanan termasuk didalamnya pengelolaan penangkapan ikan konservasi, penelitian, pengembangan perikanan baik perairan pedalaman, kepulauan, laut teritorial, zona tambahan dan zona ekonomi eksklusif (ZEE).

11 (sebelas) wilayah pengelolaan perikanan (WPP) telah dibentuk untuk menggantikan 9 (sembilan) WPP yang sudah tidak relevan dengan prinsip pengelolaan perikanan terkait pemantauan potensi sumberdaya ikan.

Pembagian 11 WPP dilakukan melalui pendekatan ilmiah yang berkaitan dengan ketersediaan ikan dan karakteristik perairannya. Informasi ilmiah yang diperoleh pada masing masing WPP digunakan dalam menentukan kebijakan pengelolaan perikanan yang pelaksanaannya dilakukan dengan kehati-hatian.

Pengawasan Sumber Daya Laut

Upaya pengawasan sumber daya laut terus dilakukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan untuk menegaskan kedaulatan laut Indonesia, sebagai bagian dari mempertahankan kelestarian sumber daya perikanan Indonesia dan dunia.

BAB V

Perikanan Tangkap Berkelanjutan

Erfind Nurdin

*Balai Riset Perikanan Laut
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Rahmad Surya Hadi Saputra

Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang

Sinar Pagi Sektiana

*Program Studi Teknologi Akuakultur,
Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta*

Rita Rachmawati

*Pusat Riset Perikanan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Hatim Albasri

*Pusat Riset Perikanan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Sitasi:

Nurdin E., Saputra R. S. H., Sektiana S. P., Rachmawati R., & Albasri H. 2019. Perikanan Tangkap Berkelanjutan, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Perikanan Tangkap Berkelanjutan

Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia (WPPRI) merupakan wilayah pengelolaan perikanan untuk penangkapan sumber daya ikan, budidaya ikan, konservasi, penelitian dan pengembangan perikanan yang meliputi perairan pedalaman, perairan kepulauan, laut teritorial, zona tambahan, dan zona ekonomi eksklusif Indonesia (ZEEI) berdasarkan wilayah yang telah ditetapkan dalam undang-undang agar pengelolaan lebih optimal dan terarah berdasarkan komoditas perikanan unggulan di masing-masing WPP-RI.

Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia (WPP-RI) mengalami perubahan dan pemutakhiran sesuai dengan tuntutan perkembangan pengelolaan perikanan dan status administrasi. Peta WPP-RI pertama kali diterbitkan pada tahun 1999 melalui Keputusan Menteri Pertanian No.995/Kpts/IK 210/9/99 tentang potensi sumber daya ikan dan jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB) di mana di dalamnya dilampirkan peta Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) yang ditetapkan 9 WPP.

5.1 Potensi Perikanan Tangkap Indonesia

Laut adalah masa depan peradaban bangsa. Hal ini menunjukkan bahwa sudah saatnya bangsa Indonesia melihat laut sebagai sumber kehidupan manusia. Oleh sebab itu, pembangunan kelautan dan perikanan harus dilakukan oleh seluruh pemangku kepentingan untuk mengubah suatu keadaan menjadi lebih baik dengan memanfaatkan sumber daya kelautan dan perikanan secara optimal, efisien, efektif, dan akuntabel, dengan tujuan akhir untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

Pembangunan perikanan dilakukan melalui upaya peningkatan produktivitas dan efisiensi usaha. Ini diharapkan meningkatkan produksi perikanan yang diarahkan untuk meningkatkan konsumsi, penerimaan devisa negara, penyediaan bahan baku industri perikanan, dan kesejahteraan pelaku kegiatan perikanan. Semua tersebut dilakukan dengan tetap memperhatikan kelestarian sumber daya dan lingkungan dalam rangka mewujudkan pembangunan perikanan yang berkelanjutan yang berwawasan lingkungan.



Gambar 81.
Tuna hasil
tangkapan nelayan
handline Nabire
(*small scale*
fisheries)

Perkembangan pembangunan perikanan yang berlangsung demikian cepat, sangat membutuhkan informasi mengenai status stok sumber daya ikan yang senantiasa terbaru. Artinya, upaya pengelolaan dan pembangunan perikanan memerlukan bukti-bukti ilmiah yang bersifat kekinian. Dengan acuan informasi ilmiah yang pasti dan terbaru inilah diharapkan dapat disusun pola pengelolaan dan pembangunan sumber daya perikanan yang mampu menjamin keberlanjutan usaha perikanan dalam jangka panjang.

Pertimbangan potensi sumber daya ikan dapat dipergunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam menentukan alokasi sumber daya ikan dan jumlah tangkapan yang diperbolehkan dengan mempertimbangkan status tingkat eksploitasi sumber daya ikan dalam rangka mendukung kebijakan pengelolaan perikanan yang berkelanjutan di WPP Negara Republik Indonesia.

Dalam rangka mendukung kebijakan pengelolaan perikanan yang berkelanjutan di WPP Negara Republik Indonesia, maka perlu menetapkan angka estimasi potensi, jumlah tangkapan yang diperbolehkan, dan tingkat pemanfaatan sumber daya ikan di wilayah pengelolaan perikanan negara Republik Indonesia. Hal ini tertuang dalam Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 50/KEPMEN-KP/2017.

5.1.1 Wilayah Pengelolaan Perikanan Indonesia

Dengan berjalannya waktu serta perkembangan dalam pengelolaan perikanan tangkap dan mulai dikembangkannya konsep *Monitoring, Controlling, and Surveillance* (MCS), maka fungsi WPP selain diperlukan untuk penentuan potensi dan tingkat pemanfaatan juga dapat pula berperan sebagai dasar pengelolaan didalam hal perijinan dan pengawasan.

Pembagian wilayah pengelolaan perikanan tangkap awalnya berdasarkan perairan lokasi pendaratan ikan Indonesia. yang terbagi ke dalam 9 WPP RI, sebagai berikut :

- a) **Perairan Samudra Hindia** meliputi Provinsi Aceh, Sumatra Utara, Sumatra Barat, Bengkulu, Lampung, Banten, Jawa Tengah, Jawa Timur, Yogyakarta, Bali, Nusa Tenggara Timur, dan Nusa Tenggara Barat.
- b) **Perairan Laut Sulawesi dan Samudra Pasifik** meliputi Provinsi Gorontalo, Sulawesi Utara, Papua, dan Kalimantan Timur.
- c) **Perairan Laut Seram dan Teluk Tomini meliputi Teluk Tomini dan Laut Seram** meliputi Provinsi Sulawesi Tengah, Maluku Utara, dan Papua Barat.
- d) **Perairan Laut Arafura** meliputi Laut Aru, dan Laut Timur Timor meliputi Provinsi Papua.
- e) **Perairan Laut Banda** meliputi Provinsi Maluku.
- f) **Perairan Laut Flores dan Selat Makassar** meliputi Provinsi Bali, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara.
- g) **Perairan Laut Jawa** meliputi Provinsi Lampung, Banten, Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan.
- h) **Perairan Selat Malaka** meliputi Provinsi Aceh, Sumatra Utara, dan Riau.
- i) **Perairan Laut Cina Selatan** meliputi Provinsi Kepulauan Riau, Jambi, Sumatra Selatan, Kepulauan Bangka Belitung, Kalimantan Barat.

WPP-RI dikaji berdasarkan pendekatan bioekologis, keragaman sumber daya ikan, kaidah toponim laut dengan memperhatikan kondisi morfologi dasar laut, pembagian wilayah perairan berdasarkan IMO dan IHO, serta memperhatikan perkembangan pemekaran wilayah otonomi daerah dan perkembangan penataan batas maritim Indonesia.

Batas peta WPP-RI merupakan kepentingan bangsa Indonesia untuk dapat mengelola sumber daya perikanan secara baik dan benar serta melindungi kepentingan nelayan nasional terhadap aksi-aksi *illegal* perikanan dari negara lain di dalam wilayah pengelolaan perikanan nasional.

Penyusunan peta WPP-RI yang dilakukan pada tahun 2009 dilakukan dengan mempertimbangkan standarisasi data dan sinkronisasi dengan data spasial lainnya. Beberapa hal yang dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

- a) Disusun berdasarkan standar sistem koordinat nasional dalam format digital berbasis Geographic Information System (GIS).
- b) Dirancang mendukung pertukaran data antar pengguna.
- c) Batas-batas terluar adalah Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia yang telah dikaji pada setiap segmen perbatasan dengan status terkini, dibawah supervisi tim Dinas Hidro Oseanografi dan telah dikonsultasikan dengan Kementerian Luar Negeri.
- d) Penamaan dan Penomoran WPP RI disesuaikan dan mengacu pada *International Maritime Organisation* (IMO), *International Hydrography Organisation* (IHO) dan *Food and Agriculture Organization* (FAO).
- e) Merupakan awal upaya revitalisasi perikanan dari aspek pengelolaan wilayah perikanan.

Dalam upaya mencapai pemanfaatan secara optimal dan berkelanjutan dalam pengelolaan perikanan yang menjamin kelestarian sumber daya ikan dan lingkungan di seluruh Indonesia, terjadi perubahan jumlah WPP, dari 9 WPP menjadi 11 WPP berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. Per.01/Men/2009 dan diperbaharui kembali berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No.18/PERMEN-KP/2014 tentang Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia.

Penentuan pembagian 11 WPP ini mengacu kepada Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO) di mana pembagian wilayah pengelolaan mengikuti penomoran standar FAO "Fisheries Area" dan Indonesia masuk ke dalam *Fishing Area 57 (Indian Ocean, Eastern)* dan *71 (Pacific, Western Central)*. Menurut pembagian wilayah statistik perikanan FAO, perairan Indonesia berada pada dua area, yaitu area 57 kawasan Samudra Hindia bagian timur (*Eastern Indian Ocean*) dan area 71 (*The Western Central Pacific*) kawasan Indo-Pasifik bagian barat. Pada bagian luar perairan Indonesia, titik-titik koordinat mengacu pada daftar koordinat batas maritim Indonesia. Kode satuan WPP RI menurut kodefikasi internasional yang diterapkan oleh *Food and Agriculture Organization (FAO)* pada bidang perikanan terutama untuk keperluan statistik perikanan.

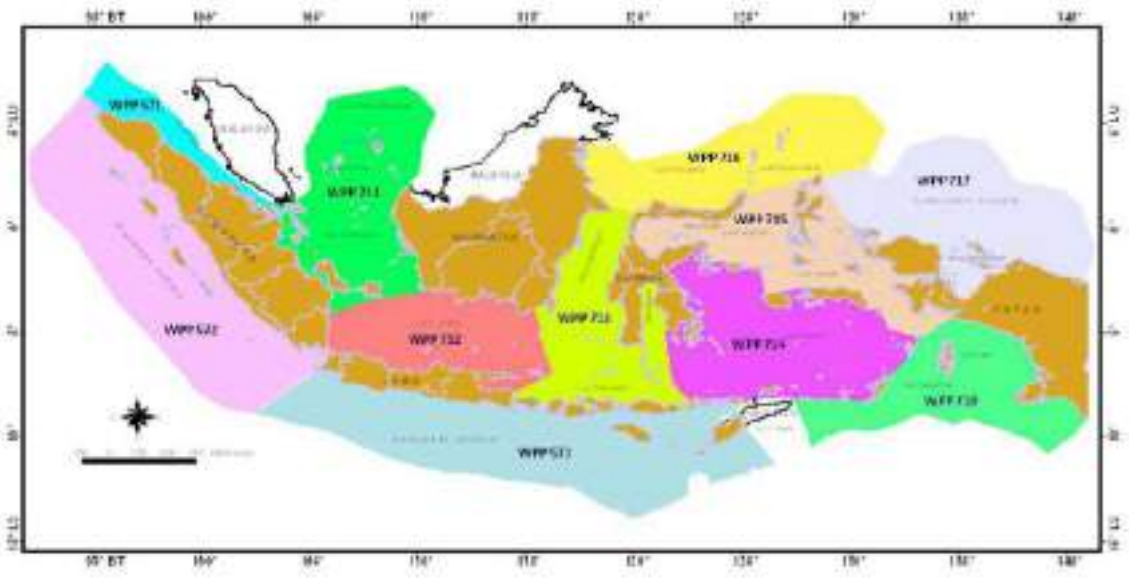
Selanjutnya, satuan penomoran WPP-RI mengikuti kedua area tersebut dengan kode lokal berurutan dari nomor 1 (satu) dan seterusnya, dimulai dari arah barat ke timur untuk kode regional 57 sesuai dengan sistem koordinat internasional. Sedangkan untuk area 71 dimulai dari Laut Cina Selatan, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut banda, Laut Seram, Laut Sulawesi, Samudra Pasifik, dan Laut Arafura. Area 57 kawasan Samudra Hindia bagian timur dan area 71 kawasan Indo-Pasifik bagian barat.

Sebagaimana dasar penentuan wilayah pengelolaan perikanan yang mengacu pada kondisi fisik, ekologi, dan oseanografi perairan Indonesia, WPP-RI dalam kodefikasinya juga mengacu pada kodefikasi FAO untuk dapat digunakan secara regional dan internasional. Peta WPP-RI dilengkapi dengan daftar koordinat sebagai acuan batas-batas antar wilayah pengelolaan perikanan.

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor Per.01/Men/2009 tentang Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia, (WPP-RI), yang diperbaharui dengan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 18/PERMEN KP/2014 yaitu:

- 1) **WPP-RI 571** meliputi perairan Selat Malaka dan Laut Andaman;
- 2) **WPP-RI 572** meliputi perairan Samudra Hindia sebelah Barat Sumatra dan Selat Sunda;
- 3) **WPP-RI 573** meliputi perairan Samudra Hindia sebelah Selatan Jawa hingga sebelah Selatan Nusa Tenggara, Laut Sawu, dan Laut Timor bagian Barat;
- 4) **WPP-RI 711** meliputi perairan Selat Karimata, Laut Natuna, dan Laut China Selatan;
- 5) **WPP-RI 712** meliputi perairan Laut Jawa;
- 6) **WPP-RI 713** meliputi perairan Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores, dan Laut Bali;
- 7) **WPP-RI 714** meliputi perairan Teluk Tolo dan Laut Banda;
- 8) **WPP-RI 715** meliputi perairan Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Halmahera, Laut Seram dan Teluk Berau;
- 9) **WPP-RI 716** meliputi perairan Laut Sulawesi dan sebelah Utara Pulau Halmahera;
- 10) **WPP-RI 717** meliputi perairan Teluk Cendrawasih dan Samudra Pasifik;
- 11) **WPP-RI 718** meliputi perairan Laut Aru, Laut Arafuru, dan Laut Timor bagian Timur.

Gambar 82.
Wilayah Pengelolaan
Perikanan Republik
Indonesia (WPP-RI)



Tabel 4. Estimasi potensi, jumlah tangkapan yang diperbolehkan dan tingkat pemanfaatan sumber daya ikan di WPPRI (Sumber: KEPMEN KP, Nomor 50/KEPMEN - KP/2017)

Wilayah Pengelolaan Perikanan Segmen Republik Indonesia		Hasil Potensi (t/ha)	Hasil Potensi (t/ha)*	Hasil Dikurangi	Hasil Rata-rata	Ukuran Kapal (GRT)	Jumlah Kapal	Daya Tangkap (kg/kapal)	Daya Tangkap (kg/kapal)	Ukuran Kapal (GRT)	Jumlah Kapal	
Wilayah Perikanan Laut Indonesia	WPPRI 071	Potensi (t/ha)	19.812	19.444	19.442	28.200	39.432	870	11.270	11.270	9.036	425.944
		JTB (t/ha)	19.812	19.330	19.065	18.924	47.004	899	16.230	16.091	7.236	-
		Tingkat pemanfaatan	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	1,30	1,08	0,63	0,63	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 072	Potensi (t/ha)	327.238	279.223	333.962	48.270	9.023	1.183	4.543	966	14.278	1.283.073
		JTB (t/ha)	321.527	221.494	339.084	21.506	6.416	1.188	1.074	791	11.603	-
		Tingkat pemanfaatan	0,50	0,38	0,57	0,23	0,70	0,30	0,18	0,49	0,39	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 073	Potensi (t/ha)	631.521	594.128	7.431	33.818	7.242	970	826	3.911	6.191	1.487.544
		JTB (t/ha)	614.417	468.920	6.320	17.818	6.670	774	921	3.138	6.698	-
		Tingkat pemanfaatan	1,00	1,00	0,34	1,00	0,70	0,81	0,38	0,58	1,11	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 074	Potensi (t/ha)	101.284	101.025	101.025	10.422	62.342	1.421	1.218	4.711	21.494	787.126
		JTB (t/ha)	294.227	184.994	104.000	16.306	49.673	1.120	1.834	3.736	14.739	-
		Tingkat pemanfaatan	1,41	0,91	0,61	1,00	0,60	0,84	1,04	1,18	1,04	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia	WPPRI 075	Potensi (t/ha)	304.061	21.814	487.610	18.093	32.968	884	1.064	10.868	106.384	1.181.622
		JTB (t/ha)	291.730	26.258	336.000	23.461	46.372	791	6.231	18.866	101.244	-
		Tingkat pemanfaatan	0,30	0,09	0,69	1,00	0,14	0,80	0,59	0,60	0,60	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 076	Potensi (t/ha)	228.919	693.898	202.889	13.826	38.464	927	4.247	8.462	10.813	1.177.002
		JTB (t/ha)	104.731	516.946	202.785	13.866	14.214	243	1.477	4.233	8.425	-
		Tingkat pemanfaatan	1,13	1,13	0,90	0,27	0,37	0,48	0,63	0,71	1,18	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 078	Potensi (t/ha)	105.944	344.283	68.013	142.330	6.181	724	6.140	1.646	10.444	788.616
		JTB (t/ha)	139.750	143.403	38.408	116.424	6.544	574	4.96	1.125	54.735	-
		Tingkat pemanfaatan	0,44	0,18	0,38	0,79	0,88	0,74	1,22	0,71	1,28	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 079	Potensi (t/ha)	202.962	21.629	323.800	111.000	1.431	146	691	493	16.272	1.242.526
		JTB (t/ha)	441.798	26.227	246.846	318.600	9.141	477	723	786	8.127	-
		Tingkat pemanfaatan	0,68	0,09	0,22	0,94	0,78	1,12	1,19	0,99	1,28	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 079	Potensi (t/ha)	322.012	182.461	38.142	28.648	1.943	894	2.186	294	1.122	387.216
		JTB (t/ha)	206.108	145.383	18.014	27.523	6.556	715	3.736	215	861	-
		Tingkat pemanfaatan	0,18	0,81	0,26	0,88	0,34	0,78	0,28	0,66	1,01	-
Wilayah Perikanan Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 079	Potensi (t/ha)	626.188	68.408	131.078	23.028	6.181	1.144	486	86	8.146	1.184.498
		JTB (t/ha)	646.080	82.746	109.040	12.014	7.233	889	301	46	1.711	-
		Tingkat pemanfaatan	0,52	1,00	0,18	0,61	0,46	1,04	0,62	1,21	1,28	-
Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia, Laut Indonesia	WPPRI 078	Potensi (t/ha)	105.074	81.073	89.732	21.465	82.912	1.183	1.496	195	9.211	5.027.268
		JTB (t/ha)	689.273	655.096	701.078	13.548	36.274	966	1.180	636	7.826	-
		Tingkat pemanfaatan	0,21	0,29	0,07	1,00	0,09	0,37	0,69	0,77	1,28	-
Jumlah Potensi (t/ha)											12.241.818	

Keterangan: *Ikan pelagis besar non Tuna-Cakalang
 Tingkat pemanfaatan (E): E < 0,5 = Moderate, upaya penangkapan dapat ditambah;
 0,5 = E < 1 = Fully-exploited, upaya penangkapan dipertahankan dengan monitor ketat
 E = 1 = Over-exploited, upaya penangkapan harus dikurangi.

Pertumbuhan sektor perikanan di Indonesia didukung oleh peningkatan produksi hasil penangkapan ikan dan budidaya. Pertumbuhan produksi ikan hasil tangkapan diduga juga terjadi akibat dampak dari peraturan-peraturan yang dibuat pemerintah yang bertujuan untuk peningkatan produksi hasil tangkapan dan keberlanjutan pemanfaatan sumber daya perikanan laut. Pada periode 2011–2016 terjadi peningkatan estimasi volume potensi perikanan tangkap Indonesia sebesar 34,4 persen, di mana pada tahun 2011 tercatat sebesar 6,5 juta ton menjadi 9,9 juta ton pada tahun 2016. Tahun 2017 potensi perikanan kembali meningkat tajam menjadi 12,5 juta ton dimana terjadi kenaikan sebesar 20,8 persen dari tahun sebelumnya.

Secara teoritis, terdapat dua bentuk regulasi dalam pengelolaan sumber daya perikanan di berbagai belahan dunia, yaitu akses terbuka (*open access*) dan akses terkendali (*controlled access*). Akses terbuka adalah suatu bentuk regulasi yang cenderung membiarkan nelayan menangkap ikan dan mengeksploitasi sumber daya hayati lainnya kapan saja, di mana saja, berapa pun jumlahnya, dan dengan alat apa saja. Secara empiris, implikasi dalam jangka panjang terhadap regulasi ini akan menimbulkan dampak negatif terhadap upaya pemanfaatan sumber daya.

Sebaliknya, pengelolaan dengan sistem akses terkendali adalah regulasi terkendali yang dijabarkan berupa (1) pembatasan *input* (*input restriction*), yakni membatasi jumlah pelaku, jumlah jenis kapal, dan/atau jenis alat tangkap, (2) pembatasan *output* (*output restriction*), yakni membatasi berupa jumlah tangkapan bagi setiap pelaku berdasarkan kuota.

Kompleksitas permasalahan pendataan perikanan saat ini menjadi prioritas yang harus diatasi guna mengakomodasi kebutuhan analisis perikanan berbasis produksi hasil tangkapan (*catch production*) dan upaya (*effort*) per area lokasi WPP-RI. Sistem pendataan yang tepat menuntut adanya perbaikan dan terobosan dari sistem pendataan yang tertelusur (*traceability*), terbaru (*update*), dan berkesinambungan (*continuous*).

Peningkatan kapasitas dan kemampuan sumber daya manusia juga menjadi prioritas yang harus diperhatikan. Peningkatan kapasitas berupa pemahaman terkait pengelolaan perikanan bertanggung-jawab, kegiatan pengumpulan data, input data, pengolahan, dan analisis data. Penguasaan metode/ilmu dan teknologi, pengetahuan dasar untuk memahami masalah secara menyeluruh dan lebih detail guna menjawab tantangan saat ini, ataupun pemahaman dalam penentuan pemodelan yang akan digunakan untuk menjawab kondisi terkini.

Pengkajian sumber daya ikan menjadi salah satu dasar dalam pengelolaan perikanan yang merupakan amanat undang-undang No. 31/2004 juncto No.45/2009. Prinsip-prinsip pengkajian sumber daya ikan berkaitan dengan pengelolaan perikanan, pentingnya pemahaman yang baik mengenai potensi dan tangkapan, pentingnya data yang akurat dan terkini, pentingnya



Gambar 83
Mekanisme pengkajian sumber daya ikan di Indonesia (Sumber; Komnaskajiskan 2015).

monitoring serta tata cara pengkajian sumber daya ikan (Komnaskajiskan, 2015).

Pengkajian sumber daya ikan ditujukan untuk mengkaji secara ilmiah besarnya stok ikan yang kita miliki di suatu daerah (wilayah pengelolaan perikanan), dan dari besaran tersebut dihitung berapa jumlah tangkapan yang diperbolehkan untuk menjamin kelangsungan sumber daya ikan tersebut. Data yang diperlukan untuk pengkajian sumber daya ikan dapat dikelompokkan menjadi dua (NOAA, 2012) dalam (Komnaskajiskan, 2015) yaitu:

Fishery-independent-data, berasal dari survei laut untuk mengumpulkan data dan informasi mengenai kelimpahan stok ikan, biologi dan ekosistemnya. Data dan informasi yang diperoleh relatif akurat dan terkini (*real time*).

Fishery-dependent-data, yang dikumpulkan langsung dari kegiatan perikanan komersial. Data dan informasi yang diperoleh berupa upaya penangkapan (*fishing effort*), jumlah tangkapan ikan, jumlah ikan yang didaratkan (pendaratan), jenis ikan, serta data biologi ikan komersial. Data tersebut dikumpulkan melalui *logbook* penangkapan, petugas *observer* di laut (*at-seaobservers*), sistem monitoring, dan pelaporan secara elektronik (*electronic monitoring and reporting systems*), survei wawancara, dan survei monitoring kapal (*vessel-monitoring surveys*).

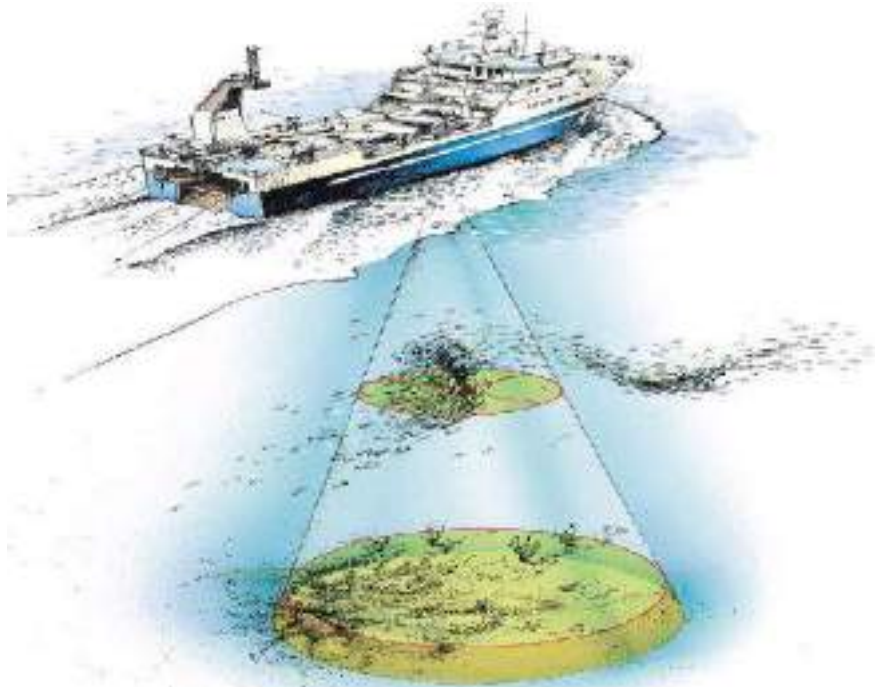
Beberapa metode yang umum digunakan dalam pengumpulan data pendugaan stok sumber daya ikan antara lain:

1) Akustik

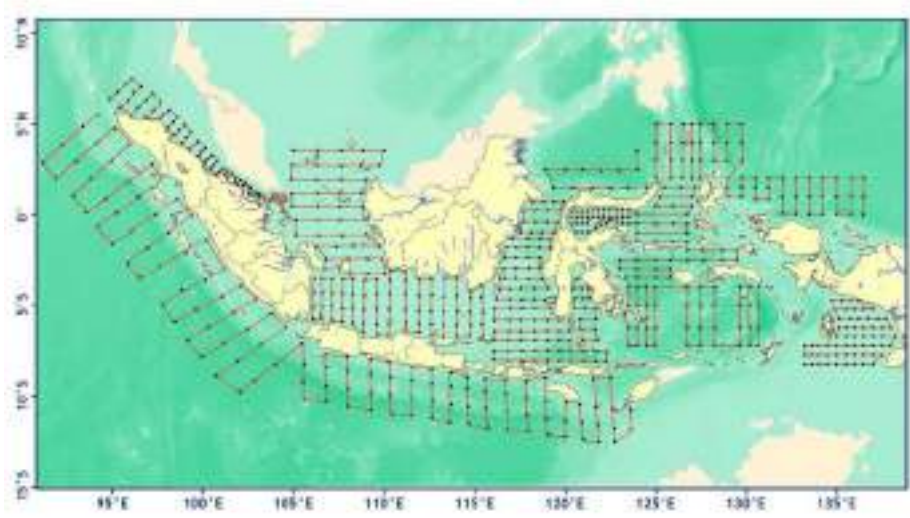
Metode akustik memanfaatkan gelombang suara untuk deteksi dan kuantifikasi target bawah air, misalnya ikan. Target terdeteksi apabila pantulan suara yang kembali masih jelas diterima oleh transduser akustik. Metode akustik sampai saat ini telah menjadi salah satu metode pengkajian stok ikan yang cukup handal dengan beberapa kelebihan, antara lain: pengkajian stok yang cepat, kemampuan untuk menduga galat (*error*) pengukuran dan memberikan informasi tentang tingkat akurasi total kelimpahan, yang biasanya sulit diperoleh pada metode lainnya.

Komnaskajiskan (2015) menerangkan bahwa survei akustik dapat dilakukan dengan beberapa pola lintasan survei pertimbangan dalam memilih pola lintasan, jarak antar lintasan, dan kecepatan kapal tergantung pada derajat liputan, logistik, dan anggaran yang tersedia. Lintasan rancangan survei akustik tergantung tujuan survei. Selain itu tergantung pada target/spesies yang akan disurvei, kelompok umur, lokasi atau waktu tertentu. Waktu survei yang tepat dapat meminimalisir bias dan memaksimalkan pemisahan spesies atau kelompok umur. Sebagaimana diketahui waktu survei dapat dilakukan secara musiman, *diel*, atau pola umur bulan terhadap perilaku ikan. Pertimbangan lain dalam survei menyangkut daerah survei, keterbatasan logistik, kecepatan kapal selama survei dan jumlah waktu yang dibutuhkan secara keseluruhan.

Tampilan data akustik berupa distribusi data target strength (TS) dalam satuan decibel (dB) sebagai indeks ukuran ikan dan pengukuran kekuatan



Gambar 84.
Ilustrasi
pengoperasian
akustik (Photo
credit: SIMRAD)

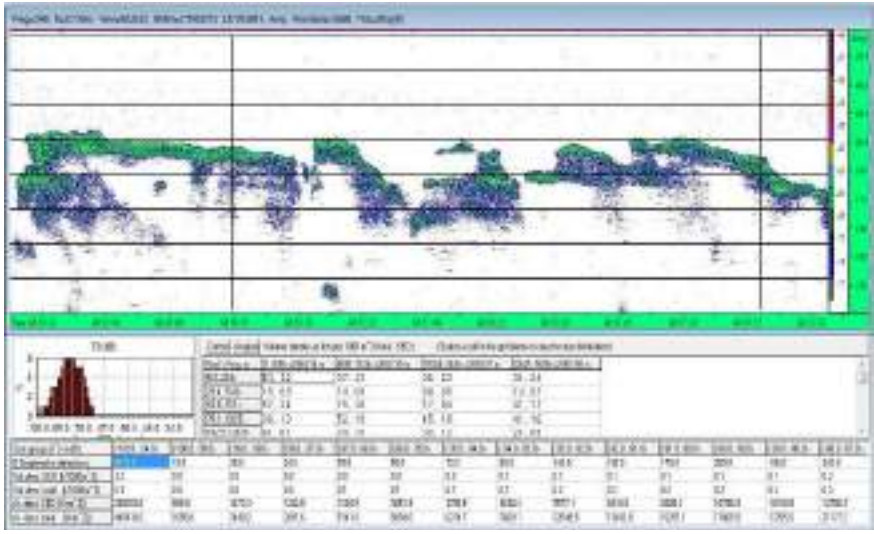


Gambar 85. Lintasan pengambilan data akustik (Photo credit: BRPL)

(BRPL)

volume hambur balik (*volume backscattering strength; SV*) sebagai indeks kepadatan dari suatu kumpulan target ikan yang terdeteksi, hubungan panjang ikan dengan nilai TS, dan estimasi biomassa ikan.

Estimasi biomassa akustik membutuhkan kombinasi berbagai data yang dikumpulkan sepanjang lintasan survei, yakni: total hambur balik akustik, proporsi per spesies dan/atau ukuran kelas, dan panjang rata-rata target (ikan). Rata-rata kepadatan ikan yang dikenai gelombang/pulsa suara dihitung untuk setiap ESDU (*Elementary Sampling Distance Unit*) dari lintasan survei, dan untuk setiap spesies dan kedalaman.



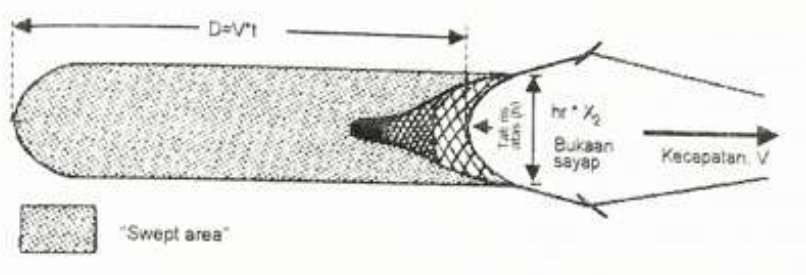
Gambar 86. Rekaman data akustik(echogram) (Photo credit: BRPL)

2) Luasan area sapuan (*swept area method*)

Survei *trawl* dasar untuk memantau indeks kelimpahan stok ikan demersal telah digunakan secara luas di berbagai belahan dunia perikanan. Bagi stok yang belum dimanfaatkan di mana data perikanannya sangat sedikit, biomassa dan dugaan hasil tahunannya (*yield*) dapat diperoleh melalui survei *trawl* dasar. Rata-rata hasil tangkapan (dalam berat atau jumlah) persatuan upaya atau persatuan luas/area merupakan indeks kelimpahan stok, yang diasumsikan proporsional dengan kelimpahan stok ikan yang ada di alam. Indeks tersebut dapat dikonversikan ke dalam ukuran absolut biomassa dengan menggunakan metode *swept area*, yang termasuk kedalam metodeholistik.

Pengoperasian jaring *trawl* akan 'menyapu' suatu alur tertentu, yang luasnya adalah perkalian antara panjang alur dengan lebar mulut jaring, yang kemudian disebut '*swept area*' atau '*effectivepath swept*' (alur sapuan efektif = luas sapuan).

Gambar 87.
Ilustrasi metode
swept area (Credit:
Sparre and
Venema, 1999)

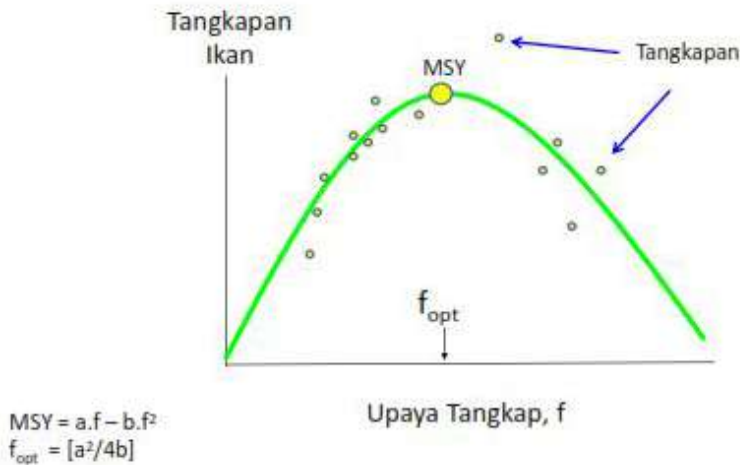


Tujuan dari kegiatan survei *swept area method* adalah untuk menduga besarnya laju tangkap dan biomassa. Besarnya biomassa dari spesies tertentu, pengumpulan data biologi (frekwensi panjang dan berat) untuk menduga parameter pertumbuhan atau mortalitas, pengumpulan data lingkungan perairan.

Untuk pendugaan biomassa digunakan data laju tangkap baik dalam bentuk *catch per-haul*, atau *catch* per-jam tarikan (*catch/hour*) atau '*catch per unit area* (CPUA)' yang nilainya adalah hasil tangkapan dibagi luas sapuan (mil laut persegi, nm). Nilai dugaan biomassa ini tergantung kepada akurasi dari nilai dugaan luas sapuan dan asumsi bahwa tali '*bridles*' tidak mempunyai efek 'menggiring ikan' yang dalam kenyataannya tidak demikian. Lebar bukaan mulut jaring akan berbeda untuk tiap tarikan. Perbedaan tersebut tergantung kepada kecepatan tarikan, kondisi cuaca, kecepatan dan arah arus, dan panjang '*warp*' yang kesemuanya itu tidak bisa diukur secara tepat.

3) Metode produksi surplus (*Surplus Production Model*)

Analisis data '*catch*' dan '*effort*' adalah metoda klasik untuk menduga kelimpahan stok ikan yang paling banyak digunakan. Data yang dikumpulkan meliputi data statistik perikanan mulai dari jenis alat tangkap, ukuran kapal,



Gambar 88.
Ilustrasi model
produksi surplus
(Photo credit:
Komnaskajiskan,
2015)

kebutuhan operasi penangkapan, hingga produksi hasil tangkapan. Salah satu model yang digunakan dalam analisis data 'catch' dan 'effort' adalah Model Produksi Surplus (*Surplus Production Model*) yang merupakan salah satu model pengkajian stok yang paling sederhana dan paling mudah dijelaskan dan diterima oleh para pengelola sumber daya ikan, terlepas dari kelemahan, kurang-telitian serta terpenuhinya asumsi-asumsi dasar yang melandasi model tersebut.

Asumsi dasar model produksi surplus adalah:

- ❖ Sumber daya ikan yang akan dikaji berasal dari satu unit stok,
- ❖ Stok ikan yang dikaji berada pada kondisi *Equilibrium*,
- ❖ Alat tangkap yang dibakukan mempunyai daya tangkap yang relatif tetap (*constant catchability*)

5.1.2 Rencana Pengelolaan Perikanan (RPP)

Pemanfaatan perikanan terus berkembang, bahkan cenderung meningkat dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi terhadap upaya perikanan tangkap mendorong ke arah pemanfaatan berlebih baik dari sisi ekonomi maupun biologi. Penggunaan teknologi penangkapan ikan yang tidak sejalan dengan konsep ramah lingkungan menyebabkan pelaku usaha perikanan tangkap cenderung untuk menangkap ikan sebanyak banyaknya hingga mencapai tahapan yang dapat dikategorikan mengancam keberadaan sumber daya ikan yang ada. Ketentuan Pasal 33 ayat (3) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 mengamatkan bahwa bumi, air, dan kekayaan yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Sumber daya ikan di WPP-RI merupakan kekayaan alam yang terkandung di dalam air dan oleh sebab itu



Gambar 89.
Pasar ikan
modern Muara
Baru, Jakarta
(Photo credit :
Endri, [http://
liquidkermi.net](http://liquidkermi.net))

sudah seharusnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Sumber daya ikan harus didayagunakan untuk mendukung terwujudnya kedaulatan pangan khususnya pasokan protein ikan yang sangat bermanfaat untuk mencerdaskan anak bangsa.

Indonesia harus memastikan kedaulatannya dalam memanfaatkan sumber daya ikan di WPP-RI. Kedaulatan tersebut juga akan memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap potensi penyerapan tenaga kerja di atas kapal, belum termasuk tenaga kerja pada unit pengolahan ikan dan kegiatan pendukung lainnya di darat. Untuk itu diperlukan rencana pengelolaan perikanan yang terarah dengan baik sebagai pedoman dalam pelaksanaan pengelolaan sumber daya ikan dan lingkungannya yang berkedaulatan dan berkelanjutan untuk kesejahteraan masyarakat Indonesia.

Perikanan adalah semua kegiatan yang berhubungan dengan pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya ikan dan lingkungannya mulai dari praproduksi, produksi, pengolahan sampai dengan pemasaran yang dilaksanakan dalam suatu sistem bisnis perikanan. Pengelolaan perikanan adalah semua upaya termasuk proses yang terintegrasi pengumpulan informasi, analisis, perencanaan, konsultasi, pembuatan keputusan, alokasi sumber daya ikan, dan implementasi, serta penegakan hukum dari peraturan perundang-undangan di bidang perikanan, yang dilakukan oleh pemerintah atau otoritas lain yang diarahkan untuk mencapai kelangsungan produktivitas sumber daya hayati perairan.

Ketentuan tersebut mengandung makna bahwa pengelolaan perikanan merupakan aspek yang sangat penting untuk mengupayakan agar sumber daya ikan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Pengelolaan yang terumuskan dan terimplementasikan dengan baik akan sangat berperan dalam mewujudkan industrialisasi perikanan tangkap yang berbasis ekonomi yang fokusnya pada peningkatan produktivitas dan nilai tambah. Penguatan pengelolaan memerlukan hasil penelitian status stok perikanan di Indonesia, terutama data potensi dan tingkat pemanfaatan.

RPP WPP-RI dimaksudkan dalam rangka mendukung kebijakan pengelolaan sumber daya ikan dan lingkungan WPP-RI sebagai arah dan pedoman bagi Pemerintah, pemerintah daerah, dan pemangku kepentingan dalam pelaksanaan pengelolaan sumber daya ikan dan lingkungannya di WPPRI mewujudkan pengelolaan perikanan yang berkedaulatan dan berkelanjutan untuk kesejahteraan masyarakat perikanan Indonesia pada umumnya dan masyarakat pesisir pada khususnya.

Menyadari pentingnya arti keberlanjutan, pada tahun 1995 badan dunia FAO merumuskan konsep pembangunan perikanan berkelanjutan dengan menyusun dokumen Kode Etik Perikanan yang Bertanggung Jawab atau *Code of Conduct for Responsible Fisheries (CCRF)*. Aktivitas perikanan yang berkelanjutan dapat dicapai melalui pengelolaan perikanan yang tepat dan efektif, yang umumnya ditandai dengan meningkatnya kualitas hidup dan kesejahteraan manusianya serta juga terjaganya kelestarian sumber daya ikan dan kesehatan ekosistemnya

Dalam Article 6.2 Code (*CCRF*), FAO 1995 mengamanatkan bahwa pengelolaan perikanan harus menjamin kualitas, keanekaragaman, dan ketersediaan sumber daya ikan dalam jumlah yang cukup untuk generasi saat ini dan generasi yang akan datang, dalam konteks mewujudkan ketahanan pangan, pengurangan kemiskinan, dan pembangunan berkelanjutan. Hal tersebut sejalan dengan cita-cita nasional Indonesia.

Charles (2001) menyatakan bahwa terkait dengan sistem perikanan terpadu, 4 komponen utama dalam analisis keberlanjutan perikanan adalah:

- 1) Keberlanjutan ekologi (*ecological sustainability*): Tingkat pemanfaatan, ketersediaan sumber daya, ukuran ikan hasil tangkapan, kualitas lingkungan, keanekaragaman ekosistem, rehabilitasi, dan *protected area*.
- 2) Keberlanjutan sosial-ekonomi (*socio economic sustainability*): Ketersediaan lapangan kerja, aktivitas perekonomian, mempertahankan, dan meningkatkan kesejahteraan sosial ekonomi secara keseluruhan dalam jangka panjang.
- 3) Keberlanjutan komunitas (*community sustainability*): Mempertahankan nilai-nilai masyarakat secara keseluruhan, yakni dengan mempertahankan atau meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara bersama-sama dalam sistem perikanan dengan cara mempertahankan atau meningkatkan sosial ekonomi setiap anggota masyarakat dan semua komponen-komponen dari sub-sistem manusia dalam sistem perikanan.
- 4) Keberlanjutan institusional (*institutional sustainability*): Pengelolaan dan pengaturan kebijakan, tingkat penggunaan metode tradisional, mempertahankan kesesuaian finansial dan kemampuan administrasi dan organisasi dalam jangka panjang.

Pemanfaatan sumber daya ikan di beberapa wilayah Indonesia mengarah kepada upaya pengendalian dan cenderung menuju pada tahapan yang

overfishing. Apabila kondisi ini terjadi terus menerus dalam jangka panjang dikhawatirkan dapat mempengaruhi potensi stok sumber daya yang ada dan mengancam kelestarian sumber daya tersebut. Dalam perspektif yang demikian, maka seluruh *stakeholder* perikanan tangkap harus bersinergi dalam merumuskan dan menjalankan konsep-konsep penguatan pengelolaan. Dengan demikian, sumber daya ikan akan dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan bagi kepentingan pembangunan perikanan di Indonesia.

Penyusunan rencana pengelolaan perikanan mengacu pada misi pembangunan KKP melalui prinsip pengelolaan perikanan dengan pendekatan ekosistem (*Ecosystem Approach to Fisheries Management /EAFM*). Pendekatan dimaksud mencoba menyeimbangkan tujuan sosial ekonomi dalam pengelolaan perikanan (kesejahteraan nelayan, keadilan pemanfaatan sumber daya ikan, dan lain-lain) dengan mempertimbangkan ilmu pengetahuan dan ketidakpastian tentang komponen biotik, abiotik, manusia dan interaksinya dalam ekosistem perairan melalui sebuah pengelolaan perikanan yang terpadu, komprehensif, dan berkelanjutan.

Dalam menganalisis sistem perikanan tangkap, Charles (2001) mendeskripsikan sistem perikanan terpadu terdiri dari tiga komponen utama (subsistem) serta adanya pengaruh faktor-faktor eksternal di luar komponen tersebut. Ketiga komponen utama tersebut adalah: (1) sistem alam (ikan); (2) sistem manusia; dan (3) sistem pengelolaan. Ketiga komponen sistem tersebut beserta subkomponennya dan faktor eksternal berinteraksi secara dinamis.

Secara nasional, kebijakan pengelolaan perikanan ditetapkan oleh pemerintah dalam hal ini. Kementerian Kelautan dan Perikanan termasuk oleh pemerintah provinsi/kabupaten/kota sesuai dengan kewenangannya. Berdasarkan PerMen KP 23/PERMENKP/2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). KKP mempunyai unit kerja Eselon I yang mempunyai tugas sebagai berikut:

- 1) Sekretariat Jenderal (Setjen) mempunyai tugas menyelenggarakan koordinasi pelaksanaan tugas, pembinaan, dan pemberian dukungan administrasi kepada seluruh unsur organisasi di lingkungan KKP.
- 2) Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut (DJPR) mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang pengelolaan ruang laut, pengelolaan konservasi dan keanekaragaman hayati laut, pengelolaan pesisir dan pulau-pulau kecil.
- 3) Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap (DJPT) mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang pengelolaan perikanan tangkap.
- 4) Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya (DJPB) mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang pengelolaan perikanan budidaya.
- 5) Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan (DJPDSPKP) mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan

pelaksanaan kebijakan di bidang penguatan daya saing dan system logistik produk kelautan dan perikanan serta peningkatan keberlanjutan usaha kelautan dan perikanan.

- 6) Direktorat Jenderal Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan (DJPSDKP) mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang pengawasan pengelolaan sumber daya kelautan dan perikanan.
- 7) Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan (Balitbang KP) mempunyai tugas menyelenggarakan penelitian dan pengembangan di bidang kelautan dan perikanan.
- 8) Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia dan Pemberdayaan Masyarakat Kelautan dan Perikanan (BPSDMP KP) mempunyai tugas menyelenggarakan pengembangan sumber daya manusia dan pemberdayaan masyarakat kelautan dan perikanan.
- 9) Badan Karantina Ikan, Pengendalian Mutu, dan Keamanan Hasil Perikanan (BKIPM) yang mempunyai tugas menyelenggarakan perkarantinaan ikan, pengendalian mutu, dan keamanan hasil perikanan, serta keamanan hayati ikan.

Di KKP terdapat Komisi Nasional Pengkajian Sumber daya Ikan (Komnas KAJISKAN) yang mempunyai tugas memberikan masukan dan/ atau rekomendasi kepada Menteri Kelautan dan Perikanan melalui penghimpunan dan penelaahan hasil penelitian/pengkajian mengenai sumber daya ikan dari berbagai sumber, termasuk bukti ilmiah yang tersedia (*best available scientific evidence*), dalam penetapan estimasi potensi dan jumlah tangkapan yang diperbolehkan, sebagai bahan kebijakan dalam pengelolaan perikanan yang bertanggung-jawab di WPP-RI.

RPP memuat penataan kelembagaan (*institutional arrangement*), dengan maksud agar RPP dapat dijalankan dengan sebaik-baiknya. Prinsip yang dianut dalam penataan kelembagaan yaitu:

- 1) Kejelasan kewenangan wilayah pengelolaan;
- 2) Keterlibatan pelaku (*stakeholders*);
- 3) Struktur yang efisien dengan jenjang pengawasan yang efektif;
- 4) Kelengkapan perangkat yang mengatur sistem;
- 5) Tata kelola yang dilakukan secara profesional, transparan, dapat dipertanggung-jawabkan dan adil;
- 6) Perwujudan sistem yang mampu mengakomodasikan dan memfasilitasi norma dan lembaga setempat; dan
- 7) Pengelolaan dilakukan secara legal dan taat hukum

Penataan kelembagaan RPP WPP-RI mencakup bentuk dari struktur kelembagaan dan tata kelola. Struktur kelembagaan dibentuk dengan

melibatkan seluruh pemangku kepentingan, dengan harapan agar kinerja kelembagaan nantinya akan dapat mengakomodir kepentingan para pemangku kepentingan. Unsur pembentuk struktur kelembagaan pengelolaan WPP-RI terdiri atas pemangku kepentingan perikanan meliputi kelompok:

- 1) Pengusaha atau industri,
- 2) Pemerintah
- 3) Akademisi/peneliti,
- 4) Pemodal,
- 5) Masyarakat.
- 6) Kelembagaan bekerja menjalankan fungsi manajemen (pengelolaan) perikanan WPP-RI, yaitu membuat perencanaan pengelolaan dan program kerja, melaksanakan program kerja, melakukan pengawasan, pengendalian, dan evaluasi, serta memberikan kontribusi kebijakan pengelolaan yang tepat kepada Pemerintah.

Rencana aksi pengelolaan disusun dengan maksud untuk mencapai sasaran yang ditentukan dalam rangka mewujudkan tujuan pengelolaan perikanan. Rencana aksi ditetapkan dengan pendekatan *who* (siapa yang akan melakukan kegiatan), *when* (waktu pelaksanaan kegiatan), *where* (tempat pelaksanaan kegiatan), dan *how* (cara melakukan kegiatan).

5.2 Pemanfaatan Sumber Daya Ikan Berkelanjutan

Pemanfaatan sumber daya perikanan berkelanjutan pada prinsipnya adalah perpaduan antara pengelolaan dan pemanfaatannya dengan tetap menjaga kelestarian sumber daya dalam jangka panjang untuk kepentingan masyarakat banyak yang berkesinambungan. Untuk mewujudkan kondisi tersebut diperlukan penerapan pengelolaan yang bersifat konservatif dengan pendekatan kehati-hatian (*precautionary approach*).

5.2.1 Tiga Pilar Pembangunan Perikanan

Sesuai dengan Visi dan Misi KKP 2014-2019 terdapat 3 (tiga) pilar dalam pembangunan bidang kelautan dan perikanan. Dalam pencapaian pilar pembangunan KKP telah menetapkan beberapa sasaran strategis.

Dalam pencapaian sasaran strategis telah ditetapkan dalam 4 (empat) *perspective* yang mengadopsi *balanced score card* yaitu :

1. *Stakeholder Perspective*

Terdiri 1 (satu) sasaran strategis, yaitu (SS-1) terwujudnya kesejahteraan masyarakat KP, dengan indikator kinerja :

- a. Indeks kesejahteraan Masyarakat Kelautan dan Perikanan
- b. Pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) Perikanan

2. *Costumer Perspective*

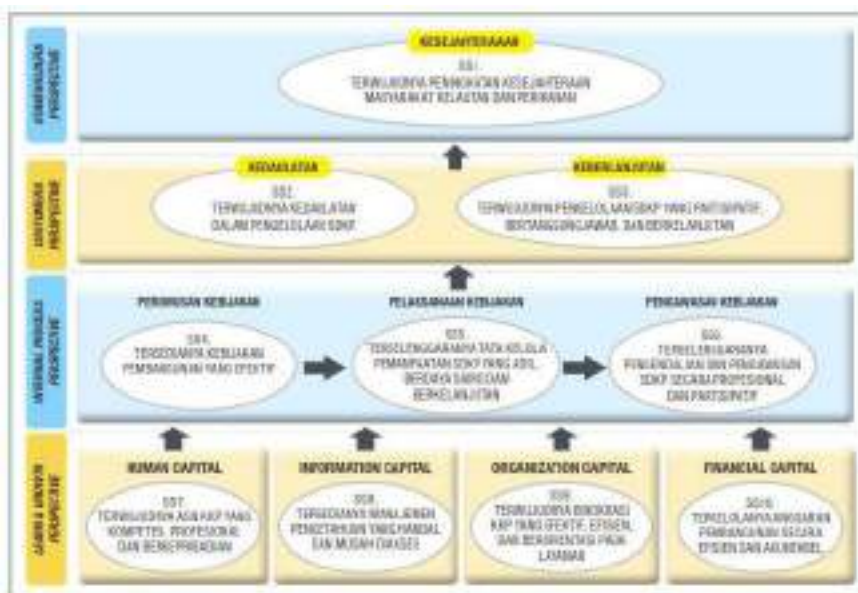
Terdiri dari 2 (dua) sasaran strategis, yaitu :

- a. Sasaran strategis kedua (SS-2) terwujudnya kedaulatan dalam pengelolaan SDKP, dengan indikator kinerja :
 - 1) Persentase kepatuhan (*Compliance*) pelaku usaha kelautan dan perikanan terhadap ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku;
 - 2) Tingkat kemandirian SKPT.
- b. Sasaran strategis ketiga (SS-3) terwujudnya pengelolaan SDKP yang bertanggung jawab dan berkelanjutan, dengan indikator kinerja:
 - 1) Persentase pengelolaan wilayah KP yang berkelanjutan;
 - 2) Persentase peningkatan ekonomi KP (%);
 - 3) Produksi perikanan;
 - 4) Produksi garam nasional;
 - 5) Nilai ekspor hasil perikanan;
 - 6) Konsumsi ikan (kg/kapita/tahun); dan
 - 7) Nilai PNBP dari sektor KP.

3. *Internal Process Perspective*

Sasaran strategis pada perspektif ini adalah merupakan proses yang harus dilakukan KKP, terdiri dari 3 (tiga) sasaran strategis, yakni :

- a) Sasaran strategis keempat (SS-4) tersedianya kebijakan pembangunan KP yang efektif, dengan indikator kinerja indeks efektifitas kebijakan pemerintah;



Gambar 90. Sasaran strategis dan pencapaian 2014 -2019 (LKJ KKP 2018)

- b) Sasaran strategis kelima (SS-5) terselenggaranya tata kelola pemanfaatan sumber daya kelautan dan perikanan yang adil dan berdaya saing dan berkelanjutan; dan
- c) Sasaran strategis keenam (SS-6) terselenggaranya pengendalian dan pengawasan sumber daya kelautan dan perikanan yang parsipatif, dengan indikator kinerja:
 - ❖ Persentase penyelesaian tindak pidana KP secara akuntabel dan tepat waktu.
 - ❖ Tingkat keberhasilan pengawasan di wilayah perbatasan.

4. *Learning and Growth Perspective*

Sebagai input yang dapat mendukung terlaksana proses untuk menghasilkan *output* dan *outcome* KKP, terdiri 4 (empat) sasaran strategis yakni :

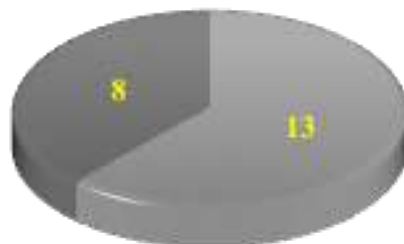
- a) Sasaran strategis ketujuh (SS-7) yakni tewujudnya Aparatur Sipil Negara (ASN) KKP yang kompeten, profesional, dan berintegritas, dengan indikatornya Indeks Kompetensi dan integritas;
- b) Sasaran strategis kedelapan (SS-8) yakni tersediannya manajemen pengetahuan yang handal, dan mudah diakses, dengan indikator kinerja persentase unit kerja yang menerapkan sistem manajemen pengetahuan yang terstandar;
- c) Sasaran strategis kesembilan (SS-9) yakni terwujudnya birokrasi KKP yang efektif, efisiensi, dan berorientasi pada pelayanan prima, dengan indikator kinerja nilai kinerja reformasi birokrasi (RB) KKP; dan
- d) Sasaran strategis kesepuluh (SS-10) yakni terkelolanya anggaran pembangunan secara efisien dan akuntabel, dengan indikator kinerja :
 - ❖ Nilai kinerja anggaran KKP;
 - ❖ Level maturitas SPIP; dan
 - ❖ Opini BPK-RI atas Laporan keuangan KKP.
 - ❖ Untuk memastikan keseluruhan program dan kegiatan pembangunan KP tersebut dapat terlaksana sesuai dengan rencana target waktu, kuantitas, kualitas, dan sasarannya, telah disepakati perjanjian yang tertuang dalam Perjanjian Kinerja antara Menteri dengan Eselon I dan diturunkan secara berjenjang sampai tingkat individu pegawai, dan telah ditetapkan sampai tingkat daerah (provinsi).

Analisa capaian kinerja untuk program 3 Pilar KKP untuk setiap perspektif sampai dengan tahun 2018 (berdasarkan laporan Kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan Tahun 2018) dari 21 Indikator Kinerja Utama (IKU) yang telah ditetapkan, terdapat 13 IKU yang telah melebihi target dan 8 IKU yang capaiannya belum sesuai dengan target yang telah ditetapkan.

A. IKU yang Capaiannya Melebihi Target

- a. Indeks kesejahteraan masyarakat KP;
- b. Presentase kebutuhan (*compliance*) pelaku usaha Kelautan dan Perikanan (KP) terhadap ketentuan peraturan perundang-undangan mencapai;
- c. Tingkat kemandirian SKPT terbangun 3 unit dan tercapai;
- d. Persentase pengelolaan wilayah KP;
- e. Indeks efektifitas kebijakan pemerintah;
- f. Efektifitas tata kelola pemanfaatan SDKP yang adil, berdaya saing dan berkelanjutan;
- g. Konsumsi ikan nasional tercapai;
- h. Persentase penyelesaian tindak pidana KP yang disidik dan dapat dipertanggung jawabkan sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku;
- i. Tingkat keberhasilan pengawasan diwilayah perbatasan;
- j. Indeks kompetensi dan integritas;
- k. Unit kerja yang menerapkan manajemen pengetahuan yang terstandar;
- l. Level maturitas SPIP telah terdefinisi lengkap 3 laporan; dan
- m. Nilai kinerja anggaran KKP.
- n. IKU yang capaiannya masih dibawah target
- o. Pertumbuhan PDB perikanan bru tercapai 47,27 persen;
- p. Produksi perikanan sebesar 24,49 juta ton baru tercapai 73.04 persen;
- q. Produksi garam nasional 2,7 juta ton tercapai 65,85 persen;
- r. Persentase peningkatan ekonomi sebesar 62,29 persen tercapai 90,78 persen;
- s. Nilai ekspor hasil perikanan sebesar 4,86 USD miliar tercapai 97,20 persen;

Capaian IKU Kementerian Kelautan dan Perikanan 2018



■ Tercapai ■ Tidak Tercapai

Gambar 91.
Capaian IKU Tahun
2018
(LKJ KKP 2018)

- t. Nilai PNB sektor KP sebesar 647,47 miliar atau tercapai 97,62 persen;
- u. Nilai kinerja reformasi birokrasi sebesar 78,95 persen (berpredikat BB) atau mencapai 97,47 persen; dan
- v. Opini laporan keuangan dengan predikat *disclaimer* atau tercapai 33,33 persen.

Dalam implementasi 3 Pilar Pembangunan Kelautan dan Perikanan oleh KKP, Indonesia perlu memperhatikan etika dalam pengelolaan kelautan dan perikanan, monopoli dalam pelaksanaan di lapangan dan kebijakan-kebijakan lokal (pemerintah daerah) yang mendukung dalam pelaksanaan program-program kementerian agar berjalan selaras.

1) Etika

Etika memegang peranan yang sangat penting dalam pengelolaan sumber daya perikanan Indonesia dalam rangka mendukung tercapainya 3 Pilar pembangunan kelautan dan perikanan. Faktor-faktor etika dalam pengelolaan sumber daya perikanan di Indonesia menjadi penting karena berbagai persoalan dalam pengelolaan perikanan bersinggungan dengan etika dalam berkehidupan.

Etika sosial adalah etika yang menyangkut hubungan atau intraksi antara manusia dengan sesama manusia. Isu terpenting dalam pengelolaan perikanan adalah Keadilan Sosial (*social justice*) sebagai contoh kebijakan tentang alat tangkap cantrang di pulau Jawa. Faktor etika, berupa keadilan sosial, perlu diperhatikan dalam mengelola sumber daya perikanan Indonesia, seperti penetapan zona tangkap, perijinan alat tangkap, penetapan kawasan perlindungan, modernisasi, tingkat eksploitasi perikanan, penanganan hak-hak tradisional dan sebagainya.

Selain etika sosial terdapat juga etika lingkungan yang dominan adalah antroposentris, maka ada dua unsur penting yang dapat mendorong tindakan konservasi dan pemanfaatan berkelanjutan. Pertama adalah keuntungan (jangka pendek), baik keuntungan ekonomi, sosial, maupun spritual. Jika kegiatan konservasi itu memberi keuntungan, maka orang akan bersedia melakukannya. Kesadaran dan pemahaman akan keuntungan yang diperoleh dari suatu tindakan konservasi atau pemanfaatan yang ramah lingkungan menjadi penting ditumbuhkan pada masyarakat pengguna sumber daya perikanan. Kedua adalah untuk orientasi jangka panjang, jika masyarakat mempunyai orientasi jangka panjang. Sebagai contoh demi kepentingan anak-cucu, maka mereka akan mudah melakukan konservasi dan pemanfaatan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, orientasi jangka panjang ini sangat penting ditumbuhkan.

Upaya untuk mendekonstruksi etika lingkungan yang antroposentris dan menggantikannya dengan etika yang lain juga perlu dilakukan. Untuk itu, perlu dikembangkan etika alternatif, yakni teosentris. Etika ini menempatkan Tuhan sebagai pusat dunia. Manusia memang diberi mandat untuk mengelola alam, tetapi tidak untuk merusak dan menggunakan seandainya untuk kepentingan dan kesenangan manusia itu sendiri.

2) Monopoli

Monopoli dalam pengelolaan kelautan dan perikanan banyak terjadi di bidang kelautan dan perikanan, terutama pada praktik-praktik nelayan-nelayan kecil (*small scale fishers*). Praktik monopoli itu terjadi dengan banyak cara salah satunya adalah adanya praktik tengkulak atau ijon, terutama pada proses pasca tangkap. Tengkulak atau pengijon ini adalah pemberi modal kepada nelayan dengan beberapa syarat-syarat yang mengikat dan sangat merugikan para nelayan. Fenomena ini di Indonesia terjadi karena sulitnya akses perbankan oleh nelayan, kebiasaan nelayan Indonesia yang enggan mencari permodalan perbankan, dan tawaran yang sangat menggiurkan oleh para pengijon dengan segala kemudahan yang diberikan.

Tengkulak memiliki prospek dalam mengatasi permasalahan kemiskinan nelayan di Indonesia karena tengkulak telah lama memiliki hubungan kerjasama dengan nelayan. Tengkulak ini memiliki empat fungsi yaitu fungsi produksi, pemasaran, finansial, dan sosial. Pada fungsi produksi, tengkulak berperan sebagai penyedia sarana produksi penangkapan ikan. Selanjutnya tengkulak juga berperan dalam menyalurkan hasil produksi ikan ke perusahaan-perusahaan atau pasar-pasar lokal. Segala kebutuhan finansial untuk terlaksananya kegiatan usaha penangkapan ikan juga akan disediakan oleh tengkulak. Selain itu yang terpenting adalah hadirnya fungsi sosial, yaitu ketika musim paceklik nelayan dapat mengandalkan tengkulak untuk membantu dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari mereka. Ini merupakan gambaran kecil dari sistem ekonomi yang berlaku di Indonesia.

Pengijon atau tengkulak sebagai pemberi modal dan pembeli hasil tangkapan nelayan akan mendapat keuntungan yang berlipat-lipat. Keuntungan tersebut didapat dari bunga pinjaman modal dan adanya selisih harga beli di nelayan dengan harga jual pada konsumen.

3) Kebijakan Lokal

Kebijakan Lokal dalam pengelolaan perikanan sangat penting agar tercapai keharmonisan dari tingkat pusat sampai ke daerah. Van Kerkhoff dan Lebel mengaitkan pentingnya kebijakan lokal dalam peningkatan partisipasi publik untuk mengambil keputusan dan tindakan pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan lebih berkelanjutan karena beberapa alasan:

- a) Pertama menggali perspektif alternatif yang tidak dapat dicapai melalui cara-cara konvensional dalam memahami masalah-masalah yang khas.
- b) Kedua menggalang dukungan dalam memahami masalah-masalah yang khas.
- c) Ketiga memobilisasi sumber daya dan membagi tanggung jawab pengelolaan dalam tindakan-tindakan yang diambil.
- d) Keempat mengembangkan kelembagaan yang mampu meningkatkan kapasitas masyarakat.



Gambar 92.
Ilustrasi praktik
monopoli oleh
tengkulak/pengijon di
Indonesia

Melalui pendekatan parsipatif ini, pengelolaan sumber daya alam akan lebih berkelanjutan tidak saja secara ekologis, tetapi juga secara sosial dan ekonomi. Dewasa ini, pendekatan manajemen bersama (*co-management*) atau manajemen terpadu (*integrated management*) yang merupakan bentuk partisipatif dari manajemen yang melibatkan banyak pemangku kepentingan (*stakeholder*) dalam suatu kerangka spasial tertentu semakin banyak dianut dalam pengelolaan sumber daya pesisir di berbagai belahan dunia.

Dalam rangka membangun kapasitas, kepercayaan diri, dan suasana saling menghormati di antara pemangku kepentingan, pengetahuan pelaku utama perikanan sebagai sebuah bentuk pengetahuan dinamis berpotensi besar dalam merumuskan tujuan-tujuan kongkrit pengelolaan modern. Oleh karena itu, semua pemangku kepentingan harus bersama-sama mengkaji, mendisain atau mengadaptasi lembaga-lembaga yang akan membangkitkan dan memperkuat potensi keterlibatan pelaku utama perikanan sebagai pengambil keputusan maupun pemilik pengetahuan. Namun, kemitraan antar pemangku kepentingan tidak akan mencapai hasil optimal jika pembagian dan tanggung jawab tidak sepenuhnya mencerminkan kepentingan dan aspirasi pihak-pihak yang terlibat.

Kewenangan Pemerintah Daerah (Pemda) dalam pembangunan sektor kelautan dan perikanan yang diatur UU No. 23 Tahun 2014 tergolong urusan pemerintahan pilihan dan merupakan kewenangan yang bersifat atribusi karena digariskan oleh UU. Konfigurasi kewenangan konkuren lebih mengarah pada optimalisasi peranan pemerintah provinsi sehingga membawa konsekuensi minimnya peranan Pemda pada sektor pembangunan kelautan dan perikanan. Bahkan untuk sub urusan yang secara nyata Pemda memiliki kapasitas untuk berperan seperti: kelautan, pesisir, dan pulau-pulau kecil; pengolahan dan pemasaran; pengembangan SDM masyarakat kelautan dan perikanan, sama sekali tidak ada kewenangan yang diberikan.

Pembagian urusan pemerintahan antara pemerintah pusat dan pemerintah daerah merupakan konsekuensi dari sistem otonomi daerah yang digunakan di Indonesia. Sebagai negara kesatuan yang memiliki wilayah yang sangat luas dengan beragam etnis dan budaya, pemberian otonomi kepada daerah seolah menjadi salah satu pilihan tepat untuk memfasilitasi terjadinya akselerasi pembangunan di daerah termasuk bidang kelautan dan perikanan.

Tabel 5. Konfigurasi urusan Konkuren Bidang Kelautan dan Perikanan Pemerintah Provinsi dan Pemerintah Kabupaten (UU No.23 Tahun 2014).

No	Sub Urusan	Pemerintah Provinsi	Pemerintah Kab/Kota
1	Kelautan, Pesisir dan Pulau-pulau kecil	<ul style="list-style-type: none"> a. Pengelolaan ruang laut sampai dengan 12 mil di luar minyak dan gas bumi; b. Penerbitan izin dan pemanfaatan ruang laut di bawah 12 mil di luar minyak dan gas bumi; c. Pemberdayaan masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil. 	Tidak ada kewenangan
2	Perikanan Tangkap	<ul style="list-style-type: none"> a. Pengelolaan penangkapan ikan di wilayah laut sampai dengan 12 mil. b. Penerbitan izin usaha perikanan tangkap untuk kapal perikanan berukuran di atas 5 GT sampai dengan 30 GT c. Penetapan lokasi pembangunan serta pengelolaan pelabuhan perikanan provinsi. d. Penerbitan izin pengadaan kapal penangkap ikan dan kapal pengangkut ikan di atas 5 GT sampai dengan 30 GT; e. Pendaftaran kapal perikanan di atas 5 GT sampai dengan 30 GT. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Pemberdayaan nelayan kecil dalam daerah kabupaten/kota. b. Pengelolaan dan penyelenggaraan tempat pelelangan ikan.
3	Perikanan Budidaya	Penerbitan Izin usaha Perikanan (IUP) dibidang pembudidayaan ikan yang usahanya lintas daerah kabupaten/kota dalam 1 (satu) provinsi.	<ul style="list-style-type: none"> a. Penerbitan IUP dibidang pembudidayaan ikan yang usahanya dalam 1 (satu) daerah kabupaten/kota. b. Pemberdayaan usaha kecil pembudidayaan ikan. c. Pengelolaan pembudidayaan ikan
4	Pengawasan sumber Daya Kelautan dan Perikanan	Pengawasan sumber daya kelautan sampai dengan 12 mil.	Tidak ada kewenangan
5	Pengolahan dan Pemasaran	Penerbitan Izin usaha pemasaran dan pengolahan hasil perikanan lintas daerah kabupaten/kota dalam 1 (satu) daerah Provinsi	Tidak ada kewenangan

No	Sub Urusan	Pemerintah Provinsi	Pemerintah Kab/Kota
6	Karantina ikan, pengendalian Mutu dan Keamanan hasil perikanan	Tidak ada kewenangan	Tidak ada kewenangan
7	Pengembangan SDM masyarakat Kelautan dan Perikanan	Tidak ada kewenangan	Tidak ada kewenangan

Berdasarkan pemetaan pada tabel di atas dan uraian kerangka teoretik sebelumnya, kewenangan pemerintah daerah dalam pembangunan sektor kelautan dan perikanan yang diatur dalam UU No. 23 Tahun 2014 tergolong urusan pemerintahan pilihan dan merupakan kewenangan yang bersifat atribusi karena digariskan oleh undang-undang. Konfigurasi kewenangan konkuren lebih mengarah pada optimalisasi peranan pemerintah provinsi sehingga membawa konsekuensi minimnya peranan pemerintah kabupaten/kota pada sektor pembangunan kelautan dan perikanan. Bahkan untuk sub urusan yang secara nyata pemerintah kabupaten/kota memiliki kapasitas untuk berperan seperti: kelautan, pesisir, dan pulau-pulau kecil; pengolahan dan pemasaran; pengembangan SDM masyarakat kelautan dan perikanan, sama sekali tidak ada kewenangan yang diberikan. Kondisi demikian dikhawatirkan akan kontra produktif dengan visi poros maritim dunia yang digagas oleh pemerintah.

5.3 Konservasi dan Rehabilitasi untuk Perikanan Berkelanjutan

5.3.1 Habitat Ikan

Tidak hanya ikan demersal atau yang menetap saja yang terancam habitat hidupnya, ikan yang bermigrasi pun mengalami ancaman penurunan populasi akibat kerusakan habitat tempat pemijahan, tempat pengasuhan, maupun tempat hidup makanannya. Kerusakan habitat ikan dapat disebabkan oleh alam maupun kegiatan manusia (antropogenik). Kerusakan oleh sebab alam dapat diakibatkan faktor abiotik berupa bencana alam seperti gempa atau tsunami maupun cuaca ekstrim seperti badai, gelombang tinggi, dan faktor biotik seperti predasi berlebihan atau serangan penyakit.

Gambar 93.
Penurunan populasi ikan dapat terjadi akibat kerusakan habitat ikan karena predasi
(Photo credit: discovery diving.2015)



Sayangnya sebagian besar kerusakan habitat justru diakibatkan oleh ulah manusia, yang sebenarnya dapat dihindari. Kegiatan manusia tersebut antara lain konversi hutan mangrove menjadi tambak atau pemukiman, pembuangan limbah dari industri, pertanian, dan tambak ke

sungai yang masuk ke estuari, penggundulan hutan di daerah hulu yang menyebabkan terbawanya sedimen hingga ke laut, penangkapan ikan dengan metode yang merusak, penambangan, terjadi tumpahan minyak, dan kegiatan wisata. Ada juga penyebab antropogenik yang secara tidak langsung, yaitu meningkatnya gas emisi dan gas rumah kaca akibat kegiatan manusia yang menyebabkan meningkatnya suhu dan menurunnya pH air laut.

Rehabilitasi Populasi Ikan

Proses rehabilitasi populasi ikan telah diatur oleh pemerintah melalui KKP. Telah menerbitkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 24/PERMEN-KP/2016 “Tentang Tata Cara Rehabilitasi Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil”. Dalam peraturan tersebut dinyatakan bahwa rehabilitasi populasi ikan dilakukan dengan cara :

1. Pengayaan Sumber Daya Hayati
 - a. Pengayaan dilakukan dengan cara penebaran benih atau *restocking* pembibitan yang berasal dari hasil budidaya/penangkaran di daerah yang mengalami penurunan populasi ikan (Gambar 93).
 - b. Pembuatan habitat buatan dilakukan dengan cara membuat habitat tempat ikan hidup, membuat habitat mencari makan, dan membuat habitat memijah yang menggunakan bahan ramah lingkungan (Gambar 94).



Gambar 94.
Habitat Buatan

2. Perbaiki Habitat, dilakukan dengan cara sebagai berikut :
 - a. Pencegahan dan/atau penghentian kegiatan yang dapat merusak habitat ikan yaitu dengan cara memitigasi perubahan iklim, melindungi ikan dari pencemaran dan menegah serta menghentikan penggunaan bahan peledak, bahan berbahaya, bahan beracun untuk kegiatan penangkapan ikan (Gambar 95).
 - b. Penerapan teknik perbaikan habitat dilakukan dengan cara perbaikan kualitas air.



Gambar 95.
Kerusakan habitat
ikan dengan sianida
(Photo credit: James
Cervino, 2016)

3. Perlindungan Populasi ikan agar tumbuh dan berkembang secara alami; dan/atau dilakukan dengan cara :
 - a. Penyediaan dan/atau perlindungan daerah pemijahan (*spawning ground*), daerah pembesaran (*nursery ground*) serta daerah pencarian makan ikan (*feeding ground*). Hal ini dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu penutupan dan pembukaan (*open close*) daerah penangkapan ikan, pengaturan ukuran (*mesh size*) alat penangkapan ikan, dan penetapan kawasan konservasi dan perlindungan jenis ikan.

Data Kementerian Kelautan dan Perikanan melalui Ditjen Pengelolaan Ruang Laut, pada tahun 2018, telah terbangun 177 kawasan konservasi perairan dengan luasan mencapai 20,88 juta Ha (6,42 persen dari luas laut) di seluruh Indonesia (Gambar 96). Capaian ini merupakan hasil penambahan kawasan baru dan penyesuaian RZWP3K sebesar 1,73 juta ha melebihi dari yang ditargetkan di 2018 (700 ribu ha). Pada tahun 2018, KKP juga telah menetapkan 5 kawasan konservasi perairan melalui Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan, yaitu KKM Serang, KKPD Mentawai, KKPD Nusa Penida, KKPD Lombok Timur, dan KKPD Lombok Barat.
 - b. Penyuluhan dan penyadaran tentang rehabilitasi populasi ikan
 - c. Pengawasan terhadap perlindungan populasi ikan
 - d. Penegakan hukum terhadap pelaku kerusakan populasi ikan
4. Ramah Lingkungan, dilakukan dengan cara
 - a. Penggunaan benih ikan untuk restocking yang memiliki kekerabatan genetik (*genetic pole*) yang sejenis: dan/atau



Gambar 96.
Peta kawasan suaka alam perairan Raja Ampat
(Photo credit: KKP 2019)

- b. Pemilihan benih ikan lokal yang tidak mengganggu rantai makanan jenis populasi yang hidup di wilayah lokasi rehabilitasi populasi ikan.

Secara umum dapat disimpulkan dalam pemeliharaan rehabilitasi ekosistem dan populasi ikan di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dapat dilakukan dengan cara :

- 1) Menjaga dan mempertahankan komponen biotik ekosistem atau populasi;
- 2) Menjaga keserasian siklus alamiah komponen abiotik;
- 3) Menjaga dan mempertahankan keseimbangan lingkungan fisik; dan/atau
- 4) Mempertahankan dan menjaga kondisi ekosistem atau populasi dari pengaruh alam atau kegiatan manusia.

5.3.2 Terumbu Karang

Salah satu sumber daya hayati laut yang sangat besar (Gambar 97), menurut Walters (1994) estimasi luas terumbu karang Indonesia sekitar 51.000 km², sedangkan Tomascik *et al.*, (1997) menyebutkan bahwa luas terumbu karang mencapai 85.707 km². Apabila estimasi ini akurat maka 51 persen terumbu karang di Asia dan 18 persen terumbu karang dunia berada di perairan Indonesia.

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) melalui Pusat Penelitian Oseanografi (P2O) telah melakukan penelitian dan pemantauan terumbu karang terhadap 1067 *site* di seluruh Indonesia. Hasilnya menunjukkan bahwa terumbu karang dalam kategori rusak ada sebanyak 386 *site* (36.18 persen), kategori cukup sebanyak 366 *site* (34.3 persen), kategori baik sebanyak 245 *site* (22.96 persen), dan kategori sangat baik sebesar 70 *site* (6.56 persen). Secara umum, terumbu karang dalam kategori baik dan cukup mengalami tren penurunan, namun sebaliknya kategori sangat baik dan jelek mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan tahun sebelumnya.

Sementara untuk ketersediaan data set terumbu karang diperoleh dari hasil penelitian dan monitoring P2O LIPI yang telah dilakukan dalam rentang waktu 25 tahun serta didukung oleh data-data dari institusi lain. Pengukuran tersebut didasarkan pada kriteria persentase tutupan karang hidup yaitu sangat baik dengan tutupan 76-100 persen, baik (tutupan 51-75 persen), cukup (tutupan 26-50 persen), dan jelek (tutupan 0-25 persen). Hasil pengukuran terkini melalui pemetaan citra satelit, luas terumbu karang Indonesia mencapai 25.000 km² (COREMAP-CTI LIPI, 2016) atau sekitar 10 persen dari total terumbu karang dunia yaitu seluas 284.300 km² (Spalding *et al.* 2001) dengan penyumbang terbesar adalah *coral triangle* yang menyumbang sekitar 34 persen (luas 73.000 km²) terhadap total luas terumbu karang dunia (Burke *et al.*, 2014). “Hal tersebut menjadikan Indonesia sebagai pusat segitiga karang dunia yang memiliki kekayaan jenis karang paling tinggi yaitu 569 jenis dari 82 marga dan 15 suku (Suharsono, 2014) atau sekitar 70 persen lebih jenis karang dunia dan 5 jenis di antaranya merupakan jenis yang endemik.

Gambar 97.
Terumbu karang dan
biota laut lainnya
(Photo credit: Chris
Menzel/Pixabay.com)





Konservasi dan Rehabilitasi Terumbu Karang

Merujuk pada perlunya rehabilitasi kondisi terumbu karang nasional, pemerintah melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan mengeluarkan peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 24/PERMEN-KP/2016 “Tentang Tata Cara Rehabilitasi Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil”. Bagian Kedua dalam PERMEN-KP tersebut diatur mengenai “Terumbu Karang” dijelaskan cara-cara rehabilitasi terumbu karang diantaranya diatur dalam Pasal 10 yaitu :

1. Pengayaan Sumber Daya Hayati;

Pengayaan sumber daya hayati terumbu karang dilakukan dengan cara :

a. Transplantasi

Hal ini dilakukan dengan cara pencangkakan bibit karang yang ditanam/ditempelkan pada media substrat antara lain berupa beton, gerabah berangka, patok besi dan karang mati (Gambar 99).

Bibit karang yang dimaksud harus memenuhi syarat yaitu harus berasal dari lokasi sekitar rehabilitasi, tidak berasal dari kawasan konservasi dan pengambilan bibit paling banyak 10 persen dari koloni induk karang buatan.

b. Pembuatan habitat buatan

Hal ini dapat dilakukan dengan cara membuat terumbu buatan yang menggunakan media beton, *biorock*, *bioreef*, dan media lain yang ramah lingkungan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan.

Gambar 98
Simbiosis ikan badut dan anemon, bagian dari ekosistem terumbu karang' (Photo credit: Robert Fridzema/Pixabay.com)



Gambar 99.
Perbaikan Habitat
Terumbu Karang

2. Perbaikan habitat

Perbaikan dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu :

- a. Pencegahan dan/atau penghentian kegiatan yang dapat merusak habita terumbu karang, dilakukan dengan memitigasi perubahan iklim, melindungi terumbu karang dari pencemaran dan mencegah dan menghentikan penggunaan bahan peledak, bahan berbahaya dan beracun serta alat penangkapan ikan yang tidak ramah lingkungan habitat terumbu karang.
 - b. Penggunaan/penerapan konstruksi bangunan yang sesuai dengan prinsip ekologi, dilakukan dengan cara memperhatikan bahan, desain dan penempatan yang disesuaikan dengan lokasi rehabilitasi.
 - c. Penggunaan/penerapan teknis perbaikan habitat, dilakukan dengan cara perbaikan kualitas air sekitar lokasi rehabilitasi.
 - d. Pembuatan habitat buatan dilakukan dengan cara pembuatan karang buatan yang menggunakan media beton, *biorock*, dan media ramah lingkungan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan.
- ## 3. Ramah lingkungan, dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu :
- a. Penggunaan spesies karang yang memiliki kekerabatan genetik (*genetic pole*) yang sejenis untuk kegiatan rehabilitasi terumbu karang;
 - b. Pengutamaan bahan baku lokal yang tidak mencemari lingkungan hidup untuk konstruksi transplantasi dan pembuatan habitat terumbu karang buatan;

- c. Penggunaan teknologi yang selektif sesuai kebutuhan rehabilitasi terumbu karang;
- d. Penerapan teknologi transplantasi dan pembuatan habitat karang yang sesuai dengan musim biologis dan pola hidro-oseanografi; dan/atau
- e. Penyesuaian frekuensi, luas dan volume karang sesuai dengan daya dukung lingkungan hidup.

5.3.3 Mangrove

Saenger *et al.* (1986) memberikan pengertian bahwa hutan mangrove merupakan sumber suatu formasi hutan yang dipengaruhi oleh adanya pasang-surut air laut, dengan keadaan tanah yang anaerobik (Gambar 100). Sedangkan Sukardjo (1996), mendefinisikan hutan mangrove sebagai sekelompok tumbuhan yang terdiri atas berbagai macam jenis tumbuhan dari famili yang berbeda, namun memiliki persamaan daya adaptasi morfologi dan fisiologi yang sama terhadap habitat yang dipengaruhi oleh pasang surut. Sementara Sorianegara (1987) memberi definisi hutan mangrove sebagai hutan yang terutama tumbuh pada lumpur aluvial di daerah pantai dan muara sungai, yang eksistensinya selalu dipengaruhi oleh air pasang-surut, dan terdiri dari jenis *Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Lumnitzera*, *Excoecaria*, *Xylocarpus*, *Scyphyphora*, dan *Nypa*.

Gambar 100.
Hutan Mangrove (Jay Park/Pixabay.com))



Pemeliharaan dan Rehabilitasi Mangrove

Kerusakan ekosistem mangrove dapat diakibatkan oleh konversi hutan mangrove menjadi tambak atau pembangunan, pemanfaatan pohon mangrove secara tidak lestari, dan berbagai bentuk polusi.

Salah satu bentuk konservasi selain menjadikan hutan mangrove sebagai daerah perlindungan adalah menetapkan batasan persentase wilayah hutan mangrove yang dapat dimanfaatkan atau dialihfungsikan. Upaya rehabilitasi hutan mangrove, sebagaimana hutan lainnya adalah melalui upaya penanaman kembali atau reboisasi (Gambar 101). Pemeliharaan dilakukan dengan berbagai cara yaitu:

1. Pemeliharaan rehabilitasi dengan menjaga dan mempertahankan biotik mangrove, dengan cara :
 - a. Penyiangan dalam hal terdapat organisme pengganggu dan
 - b. Penyulaman dalam hal terdapat kematian bibit mangrove.
2. Rehabilitasi dengan menjaga keserasian siklus alamiah komponen mangrove, dilakukan dengan cara:
 - a. Pemagaran dalam hal untuk menghindari gangguan binatang pengganggu; dan
 - b. Penyiraman dalam hal untuk menghindari kekeringan.
3. Pemeliharaan rehabilitasi dengan menjaga dan mempertahankan keseimbangan lingkungan fisik mangrove dilakukan dengan menjaga kualitas air dan tanah.
4. Pemeliharaan rehabilitasi dengan mempertahankan dan menjaga kondisi mangrove dari pengaruh alam atau kegiatan manusia dapat dilakukan dengan cara :
 - a. Pencegahan dan pengendalian pencemaran:
 - b. Pencegahan penebangan mangrove; dan
 - c. Penetapan kawasan konservasi



Gambar 101.
Rehabilitasi Hutan
Mangrove.

5.3.4 Lamun

Lamun (*seagrass*) adalah tumbuhan berbunga (*Angiospermae*) yang dapat tumbuh dengan baik pada lingkungan laut dangkal (Wood *et al.*, 1969). Semua lamun adalah tumbuhan berbiji satu (monokotil) yang mempunyai akar, rimpang (rhizoma), daun, bunga dan buah seperti halnya dengan tumbuhan berpembuluh yang tumbuh di darat (Tomlinson, 1974). Lamun senantiasa membentuk hamparan permadani di laut yang dapat terdiri dari satu spesies (*monospecific*; banyak terdapat di daerah *temperate*) atau lebih dari satu spesies (*multispecific*; banyak terdapat di daerah tropis) yang selanjutnya disebut padang lamun. Menurut Sheppard *et al.* (1996), ekosistem padang lamun merupakan ekosistem pesisir yang ditumbuhi oleh lamun sebagai vegetasi yang dominan serta mampu hidup secara permanen di bawah permukaan air laut.

Ekosistem padang lamun merupakan suatu ekosistem yang kompleks dan mempunyai fungsi dan manfaat yang sangat penting bagi perairan wilayah pesisir (Gambar 102). Secara taksonomi, lamun termasuk dalam kelompok *Angiospermae* yang hidupnya terbatas di lingkungan laut yang umumnya hidup di perairan dangkal wilayah pesisir. Distribusi lamun sangatlah luas, dari daerah perairan dangkal Selandia baru sampai ke Afrika. Dari 12 genera yang telah dikenal, 7 genera diantaranya berada dan tersebar di wilayah tropis (Den Hartog, 1970). Diversitas tertinggi ialah di daerah Indo Pasifik Barat. Komunitas lamun di wilayah ini mempunyai diversitas yang lebih kompleks dibanding yang berada di daerah sedang (Poiner & Robert, 1986).

Pemeliharaan Rehabilitasi Lamun

Kerusakan ekosistem padang lamun dapat terjadi akibat aktivitas manusia yang membuang polutan atau limbah organik atau menggunakan perahu dan membangun bangunan di dekat area padang lamun, serta akibat serangan penyakit dan berkurangnya *grazer* alias pemakan daun dari tanaman lamun seperti dugong, *manatee*, sapi laut, dan penyu. Tingginya konsentrasi bahan organik atau nutrisi dapat memicu pertumbuhan fitoplankton hingga menaungi perairan padang lamun dan menghalangi sinar matahari menembus kolom air, dimana sebagai produsen primer, tanaman lamun membutuhkan sinar matahari untuk proses fotosintesis. Bangunan di sekitar atau di atas perairan padang lamun juga dapat menghalangi penetrasi sinar matahari. Adapun mesin pada perahu atau kapal kecil dapat tersangkut padang lamun dan merusaknya.

Walaupun tidak semua penyakit pada tanaman lamun diakibatkan oleh berkurangnya populasi *grazer*, keberadaan *grazer* di ekosistem padang lamun sangatlah penting. *Grazer* secara rutin memakan daun dari tanaman lamun dan membuat tanaman lamun melakukan peremajaan daunnya. Daun yang

Manfaat dan Fungsi Padang Lamun



Gambar 102.
Berkenalan dengan
Lamun
(Photo credit: LIPI
2018)

tidak dikonsumsi semakin lama semakin berpeluang menjadi tempat hidup parasit yang membawa bibit penyakit dan mengakibatkan padang lamun terserang penyakit. Karenanya upaya konservasi dan rehabilitasi ekosistem padang lamun tidak terbatas pada upaya perlindungan dan perbaikan padang lamun, tetapi juga perlindungan dan rehabilitasi populasi *grazer* seperti dugong, *manatee*, sapi laut, dan penyu.

Belakangan ini, kerusakan ekosistem padang lamun yang berimbas pada kerusakan ekosistem terumbu karang di sekitarnya juga dapat diakibatkan oleh serangan jenis lamun invasif, yang bersifat agresif dan menekan

keberadaan jenis lamun asli (*native*) bahkan tumbuh mendesak ke arah koloni karang, (Willette and Ambrose, 2012).

Perlindungan dan rehabilitasi ekosistem padang lamun sangat penting, mengingat ekosistem ini merupakan daerah asuhan bagi banyak jenis ikan ekonomis penting (Gambar 103). Pemeliharaan rehabilitasi lamun telah diatur dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 24 /PERMEN-KP/2016, dalam Permen tersebut disebutkan pemeliharaan lamun dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

1. Pemeliharaan rehabilitasi dengan menjaga dan mempertahankan komponen biotik lamun, dengan cara penyiangan dalam hal terdapat organisme pengganggu, dan penyesipan dalam hal kematian bibit lamun;
2. Pemeliharaan rehabilitasi dengan menjaga siklus alamiah komponen *abiotic* lamun dengan cara penyiangan lamun dari sedimen dan sampah;
3. Pemeliharaan rehabilitasi dengan menjaga dan mempertahankan keseimbangan lingkungan fisik lamun dilakukan dengan cara menjaga kualitas air dan tanah; dan
4. Pemeliharaan rehabilitasi dengan mempertahankan dan menjaga kondisi lamun dari pengaruh alam atau kegiatan manusia dengan berbagai cara diantaranya yaitu pencegahan dan pengendalian pencemaran, pencegahan penambangan pasir di habitat lamun, dan penetapan kawasan konservasi.

Gambar 103.
Padang Lamun di
Indonesia.



5.3.5 Estuaria

Wilayah estuaria merupakan pesisir semi tertutup (*semi-enclosed coastal*) dengan badan air mempunyai hubungan bebas dengan laut terbuka (*open sea*) dan kadar air laut terlarut dalam air tawar dari sungai (Pritchard dalam Leeder, 1982). Pada wilayah tersebut terjadi pencampuran antara masa air laut dengan air tawar dari daratan, sehingga air menjadi payau (*brackish*). Wilayah ini meliputi muara sungai dan delta-delta besar, hutan mangrove dekat estuaria dan hamparan lumpur dan pasir yang luas. Wilayah ini juga dapat dikatakan sebagai wilayah yang sangat dinamis, karena selalu terjadi proses dan perubahan baik lingkungan fisik maupun biologis. Bercampurnya masa air laut dengan air tawar menjadikan wilayah estuaria memiliki keunikan tersendiri, yaitu dengan terbentuknya air payau dengan salinitas yang berfluktuasi (Gambar 104).

Perubahan salinitas ini dipengaruhi oleh air pasang dan surut serta musim. Selama musim kemarau, volume air sungai berkurang sehingga air laut dapat masuk sampai ke arah hulu, dan menyebabkan salinitas di wilayah estuaria menjadi meningkat. Pada musim penghujan air tawar mengalir dari hulu ke wilayah estuaria dalam jumlah besar, sehingga salinitas menjadi turun/rendah.



Gambar 104. Estuari merupakan ekosistem yang unik karena merupakan daerah bertemunya dua perairan, tawar dan asin, yang menjadikannya ekosistem yang penting bagi banyak biota laut, tawar, dan payau. Wilayah ini meliputi muara sungai dan delta-delta besar, hutan mangrove dekat estuaria dan hamparan lumpur dan pasir yang luas.

Konservasi dan Rehabilitasi Estuari

Karena pentingnya ekosistem ini bagi perikanan membuat upaya perlindungannya perlu mendapat perhatian, mengingat sungai yang membawa berbagai jenis limbah bermuara di ekosistem ini. Secara umum, upaya perlindungan estuari dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kebijakan dan perlindungan fisik. Contoh kebijakan atau peraturan yang melindungi ekosistem estuari adalah peraturan mengenai larangan pembuangan sampah dan limbah berbahaya termasuk limbah organik seperti sisa pakan dan feses dari tambak dan peternakan serta limbah organik dan inorganik dari sisa pupuk pertanian. Adapun contoh perlindungan estuari secara fisik adalah penyaring sampah di badan sungai sehingga tidak ada sampah besar yang terbawa ke estuari serta instalasi pengolah limbah cair dan sedimen untuk menurunkan konsentrasi polutan cair dan sedimen yang terbawa ke estuari.

Perlindungan rehabilitasi estuaria, laguna, teluk, delta, dan pantai telah diatur dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 24/PERMEN-KP/2016. Permen tersebut disebutkan pemeliharaan rehabilitasi dengan cara :

1. Pemeliharaan rehabilitasi dengan menjaga siklus alamiah komponen abiotik estuaria, laguna, teluk, delta, dan pantai melalui pengerukan atau pengurukan untuk mempertahankan bentuk aslinya dan mengurangi sedimentasi serta dengan menjaga kualitas air dan tanah; dan
2. Pemeliharaan rehabilitasi dengan mempertahankan dan menjaga kondisi, estuari, laguna, teluk, delta, dan pantai dari pengaruh alam atau kegiatan manusia melalui pencegahan dan pengendalian pencemaran, pengendalian penambangan pasir, dan penetapan kawasan konservasi.

Menurut Supriadi (2001), secara khusus untuk kawasan estuaria perlu tindakan pengelolaan yang benar yaitu :

1. Memperbaiki daerah lahan atas (*up land*), melalui penataan kembali sistem pengelolaan daerah atas dengan menghitung dan mempertimbangkan penggunaan lahan atas serta pengelolaan limbah air yang benar untuk menjaga kualitas air daerah bawah;
2. Pemanfaatan sumber daya perairan secara optimal, melalui tindakan-tindakan yang bijaksana yang berorientasi pemanfaatan secara optimal dan lestari; dan
3. Konservasi hutan mangrove karena dapat berperan sebagai filter sedimen yang berasal dari daerah atas.



Gambar 105.

Sustainable Development Goal 14 (Life Below Waters)

5.4 Sustainable Development Goals (SDGs) Ke-14

Membangun pemanfaatan sumber daya ikan secara berkelanjutan membutuhkan strategi dan manajemen yang efektif untuk memerangi dampak buruk dari penangkapan ikan yang berlebihan, pengasaman laut yang meningkat, dan memburuknya eutrofikasi pesisir. Perluasan kawasan lindung untuk keanekaragaman hayati laut, intensifikasi kapasitas penelitian, dan peningkatan pendanaan ilmu kelautan tetap sangat penting untuk melestarikan sumber daya laut.

Dalam pencapaian program United Nation Development (UNDP) telah membuat Kerangka kerja indikator global yang dikembangkan oleh *Inter-Agency* dan Kelompok Ahli tentang Indikator SDG (IAEG-SDGs) kemudian sebagai titik awal praktis pada sesi ke-47 Komisi Statistik PBB yang diadakan pada Maret 2016. Kerangka-kerangka kerja UNDP yang tertuang dalam SDGs 14 memuat target, tujuan, serta indikator dalam pencapaiannya.

Tabel 6.
Target, goal dan indikator dalam SDGs 14 (UNDP, 2016)

No	Target dan goal	Indikator
1.	<i>By 2025, prevent and significantly reduce marine pollution of all kinds, in particular from land-based activities, including marine debris and nutrient pollution</i>	<i>Index of coastal eutrophication and floating plastic debris density</i>
	Pada tahun 2025, cegah dan kurangi polusi laut secara signifikan dari semua jenis, khususnya dari aktivitas berbasis darat, termasuk marine debris dan polusi nutrisi	Indeks eutrofikasi pesisir dan kerapatan marine debris yang mengapung
2	<i>By 2020, sustainably manage and protect marine and coastal ecosystems to avoid significant adverse impacts, including by strengthening their resilience, and take action for their restoration in order to achieve healthy and productive oceans</i>	<i>Proportion of national exclusive economic zones managed using ecosystem-based approaches</i>
	Pada tahun 2020, pengelolaan keberlanjutan dan perlindungan ekosistem laut dan pantai untuk mencegah dampak buruk terjadi, termasuk dengan memperkuat ketahanan, dan mengambil tindakan untuk pemulihan dalam rangka menjadikan lautan yang sehat dan produktif	Proporsi zona ekonomi eksklusif nasional yang dikelola menggunakan pendekatan berbasis ekosistem.

No	Target dan goal	Indikator
	<i>Minimize and address the impacts of ocean acidification, including through enhanced scientific cooperation at all levels</i>	<i>Average marine acidity (pH) measured at agreed suite of representative sampling stations</i>
	Meminimalkan dan mengatasi dampak pengasaman laut, termasuk melalui peningkatan kerja sama ilmiah di semua tingkatan.	Keasaman laut rata-rata (pH) diukur pada rangkaian stasiun pengambilan sampel yang mewakili.
	<i>By 2020, effectively regulate harvesting and end overfishing, illegal, unreported and unregulated fishing and destructive fishing practices and implement science-based management plans, in order to restore fish stocks in the shortest time feasible, at least to levels that can produce maximum sustainable yield as determined by their biological characteristics</i>	<i>Proportion of fish stocks within biologically sustainable levels</i>
3	Pada tahun 2020, secara efektif mengatur pemanenan dan mengakhiri penangkapan ikan yang berlebihan, ilegal, penangkapan ikan yang tidak dilaporkan dan tidak diatur serta praktik penangkapan ikan yang merusak dan menerapkan rencana manajemen berbasis ilmu pengetahuan, untuk memulihkan stok ikan dalam waktu sesingkat mungkin, setidaknya ke tingkat yang dapat menghasilkan hasil maksimum yang berkelanjutan. sebagaimana ditentukan oleh karakteristik biologis mereka	Proporsi stok ikan secara biologis dalam kondisi berkelanjutan.
	<i>By 2020, conserve at least 10 per cent of coastal and marine areas, consistent with national and international law and based on the best available scientific information</i>	<i>Coverage of protected areas in relation to marine areas</i>
	Pada tahun 2020, konservasi setidaknya 10 persen dari wilayah pesisir dan laut, konsisten dengan hukum nasional dan internasional dan berdasarkan pada informasi ilmiah terbaik yang tersedia	Cakupan kawasan lindung terkait dengan wilayah laut
	<i>By 2020, prohibit certain forms of fisheries subsidies which contribute to overcapacity and overfishing, eliminate subsidies that contribute to illegal, unreported and unregulated fishing and refrain from introducing new such subsidies, recognizing that appropriate and effective special and differential treatment for developing and least developed countries should be an integral part of the World Trade Organization fisheries subsidies negotiation</i>	<i>Degree of implementation of international instruments aiming to combat illegal, unreported and unregulated fishing</i>

No	Target dan goal	Indikator
	<p>Pada tahun 2020, melarang beberapa bentuk subsidi perikanan yang berkontribusi pada kapasitas berlebih dan penangkapan ikan berlebih, menghilangkan subsidi yang berkontribusi pada penangkapan ikan ilegal, tidak dilaporkan dan tidak diatur serta menahan diri untuk memperkenalkan subsidi baru semacam itu, mengakui bahwa perlakuan khusus dan berbeda yang sesuai dan efektif untuk negara-negara berkembang dan yang paling tidak berkembang harus menjadi bagian integral dari negosiasi subsidi perikanan pada Organisasi Perdagangan Dunia (WTO)</p>	<p>Tingkat implementasi instrumen internasional yang bertujuan untuk memerangi penangkapan ikan ilegal, tidak dilaporkan dan tidak diatur</p>
	<p><i>By 2030, increase the economic benefits to small island developing States and least developed countries from the sustainable use of marine resources, including through sustainable management of fisheries, aquaculture and tourism</i></p>	<p><i>Sustainable fisheries as a proportion of GDP in small island developing States, least developed countries and all countries</i></p>
3	<p>Pada tahun 2030, tingkatkan manfaat ekonomi bagi negara-negara berkembang di pulau kecil dan negara-negara yang paling kurang berkembang dari pemanfaatan sumber daya kelautan yang berkelanjutan, termasuk melalui pengelolaan perikanan, perikanan, dan pariwisata berkelanjutan</p>	<p>Perikanan berkelanjutan sebagai bagian dari PDB di negara-negara berkembang pulau kecil, negara-negara kurang berkembang dan semua negara</p>
	<p><i>Increase scientific knowledge, develop research capacity and transfer marine technology, taking into account the Intergovernmental Oceanographic Commission Criteria and Guidelines on the Transfer of Marine Technology, in order to improve ocean health and to enhance the contribution of marine biodiversity to the development of developing countries, in particular small island developing States and least developed countries</i></p>	<p><i>Proportion of total research budget allocated to research in the field of marine technology</i></p>
	<p>Tingkatkan pengetahuan ilmiah, kembangkan kapasitas penelitian dan transfer teknologi kelautan, dengan mempertimbangkan Komisi Oceanografi antarpemerintah dan Pedoman tentang Transfer Teknologi Kelautan, dalam rangka meningkatkan kesehatan laut dan untuk meningkatkan kontribusi keanekaragaman hayati laut untuk pengembangan negara-negara berkembang, khususnya pulau-pulau kecil negara berkembang dan negara berkembang</p>	<p>Proporsi total anggaran penelitian dialokasikan untuk penelitian di bidang teknologi kelautan</p>
	<p><i>Provide access for small-scale artisanal fishers to marine resources and markets</i></p>	<p><i>Degree of application of a legal/regulatory/ policy/ institutional framework which recognizes and protects access rights for small-scale fisheries</i></p>

No	Target dan goal	Indikator
	Menyediakan akses bagi nelayan artisanal skala kecil ke sumber daya laut dan pasar	Tingkat penerapan kerangka kerja hukum / peraturan / kebijakan / kelembagaan yang mengakui dan melindungi hak akses untuk perikanan skala kecil
3	<i>Enhance the conservation and sustainable use of oceans and their resources by implementing international law as reflected in the United Nations Convention on the Law of the Sea, which provides the legal framework for the conservation and sustainable use of oceans and their resources</i>	<i>Number of countries making progress in ratifying, accepting and implementing through legal, policy and institutional frameworks, ocean-related instruments that implement international law, as reflected in the United Nations Convention on the Law of the Sea, for the conservation and sustainable use of the oceans and their resources</i>
	Meningkatkan konservasi dan pemanfaatan laut secara berkelanjutan dan sumber dayanya dengan menerapkan hukum internasional sebagaimana tercermin dalam Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Hukum Laut, yang menyediakan kerangka hukum untuk konservasi dan penggunaan laut secara berkelanjutan dan sumber daya mereka.	Jumlah negara yang mengalami kemajuan dalam meratifikasi, menerima dan menerapkan melalui kerangka hukum, kebijakan dan kelembagaan, instrumen terkait lautan yang menerapkan hukum internasional, sebagaimana tercermin dalam Konvensi PBB tentang Hukum Laut, untuk konservasi dan pemanfaatan berkelanjutan lautan dan sumber dayanya

Dalam laporan “*The Sustainable Development Goals 2018*”, tertuang rancangan hasil dari Goal 14, yaitu “*Conserve and sustainably use the oceans, seas, and marine resources for sustainable development*”. Laporan memajukan pemanfaatan berkelanjutan dan konservasi lautan terus membutuhkan strategi dan manajemen yang efektif untuk memerangi dampak buruk dari penangkapan ikan yang berlebihan, pengasaman laut yang meningkat, dan eutrofikasi pantai yang semakin buruk. Perluasan kawasan lindung untuk keanekaragaman hayati laut, intensifikasi kapasitas penelitian dan peningkatan pendanaan ilmu kelautan sangat penting untuk melestarikan sumberdaya laut.

Dengan beberapa hal pokok yang didapat adalah;

Pangsa pasar stok ikan laut secara global yang berada dalam tingkat yang berkelanjutan secara biologis menurun dari 90 persen pada 1974 menjadi 69 persen pada 2013.

- a. Beberapa studi tentang laut bebas dan situs perikanan pantai diseluruh dunia menunjukkan bahwa tingkat keasaman tingkat keasaman laut Dunia saat ini telah meningkat rata-rata sekitar 26 persen sejak dimulainya Revolusi Industri. Selain itu, kehidupan laut sedang terkena kondisi di luar variabilitas alami yang sebelumnya dialami.
- b. Kecenderungan global menunjuk pada terus memburuknya perairan pesisir karena polusi dan eutrofikasi. Tanpa upaya bersama, eutrofikasi pesisir diperkirakan akan meningkat sebesar 20 persen dari ekosistem lautan luas pada tahun 2050.
- c. Pada Januari 2018, 16 persen (atau lebih dari 22 juta kilometer persegi) perairan laut di bawah yurisdiksi nasional yaitu, 0 hingga 200 mil laut dari pantai dicakup oleh kawasan lindung. Ini lebih dari dua kali lipat tingkat cakupan 2010. Cakupan rata-rata *marine Key Biodiversity Areas (KBA)* yang dilindungi juga meningkat dari 30 persen pada 2000 menjadi 44 persen pada 2018.

5.5 *Illegal Unreported Unregulated Fishing (IUU FISHING)*

Menurut FAO (2002), pengertian IUU Fishing jika merujuk pada implementasi *Code of Conduct Responsible Fisheries* dapat diartikan sebagai kegiatan perikanan yang tidak sah, yang tidak diatur oleh peraturan yang ada, dan kegiatan perikanan yang tidak dilaporkan kepada institusi atau lembaga pengelola perikanan yang ada.

Secara spesifik kegiatan *IUU Fishing* dapat diuraikan sebagai berikut:

1. *Illegal Fishing* yaitu kegiatan penangkapan ikan yang meliputi :
 - ❖ Kegiatan penangkapan ikan yang dilakukan oleh suatu negara tertentu atau kapal asing di perairan yang bukan yuridiksinya tanpa izin dari negara yang secara hukum menjadi wilayahnya;
 - ❖ Yang bertentangan dengan peraturan nasional yang berlaku atau kewajiban internasional;

- ❖ Yang dilakukan kapal yang mengibarkan bendera suatu negara yang menjadi anggota organisasi pengelola perikanan
 - ❖ *Unreported fishing*, kegiatan penangkapan ikan yang meliputi :
 - ❖ Yang tidak pernah dilaporkan atau dilaporkan tidak benar kepada instansi yang berwenang, tidak sesuai dengan peraturan perundang-undangan nasional;
 - ❖ Yang dilakukan di area yang menjadi kompetensi organisasi pengelolaan perikanan regional, namun tidak pernah dilaporkan atau dilaporkan secara tidak benar, tidak sesuai dengan prosedur dari organisasi tersebut.
2. *Unregulated Fishing*, kegiatan penangkapan ikan yang meliputi :
- ❖ Pada suatu area atau stok ikan yang belum diterapkan ketentuan pelestarian dan pengelolaan dan kegiatan penangkapan tersebut dilaksanakan dengan cara yang tidak sesuai dengan tanggung jawab negara atau pelestarian dan pengelolaan sumber daya ikan sesuai hukum internasional;
 - ❖ Pada area yang menjadi kewenangan organisasi perikanan regional, yang dilakukan oleh kapal tanpa kewarganegaraan, atau yang mengibarkan bendera suatu negara yang tidak menjadi anggota organisasi tersebut, dengan cara yang tidak sesuai atau bertentangan dengan ketentuan pelestarian dan pengelolaan dari organisasi tersebut.

Maraknya Pencurian Hasil Perikanan di Indonesia

IUU Fishing menjadi salah satu ancaman terbesar bagi ekosistem laut karena merusak upaya nasional dan regional untuk mengelola perikanan secara berkelanjutan serta berupaya untuk melestarikan keanekaragaman hayati laut. *IUU fishing* mengambil keuntungan dari pemerintahan yang korupsi dan lemah, khususnya pada negara-negara berkembang yang kurang memiliki kapasitas dan sumber daya untuk pemantauan, kontrol, dan pengawasan yang efektif.

IUU Fishing ditemukan di semua jenis dan dimensi perikanan; ini terjadi baik di laut lepas maupun di wilayah dalam yurisdiksi nasional, ini menyangkut semua aspek dalam tahapan penangkapan dan pemanfaatan ikan, bahkan terkadang dapat dikaitkan dengan kejahatan terorganisir. Sumber daya ikan yang dimanfaatkan oleh penangkapan ikan *IUU Fishing*, dapat menyebabkan runtuhnya perikanan lokal skala kecil di negara-negara berkembang.

Produk yang berasal dari *IUU Fishing* umumnya memiliki pasar tersendiri dalam perdagangan luar negeri sehingga menghambat pasokan makanan lokal. Karenanya, *IUU Fishing* bukan saja mengancam mata pencaharian, namun juga memperburuk kemiskinan, dan menambah kerawanan pangan.

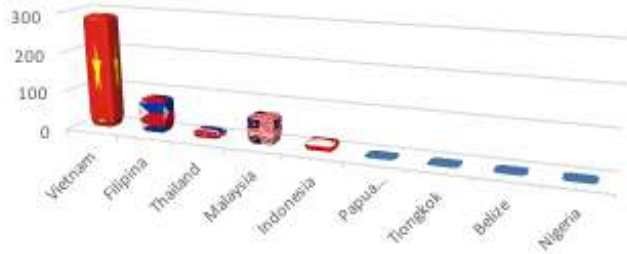
Gambar 106.
Kapal-kapal pelaku
pelanggaran IUU
Fishing yang
tertangkap di
perairan Indonesia
(Photo credit:
Nadia Zuraya)



IUU Fishing khususnya *illegal fishing* merupakan isu utama dalam diskusi stok ikan dunia. Menurut Ye and Valbo-jorgensen (2012), telah dilakukan penelitian terjadinya ancaman kepunahan pada jenis ikan *stellate sturgeon* di Laut Caspian. *Stellate Sturgeon* merupakan jenis ikan bernilai tinggi, terutama karena adanya permintaan yang tinggi terhadap telurinya. Spesies *sturgeon* secara umum telah diklasifikasikan sebagai "critically endangered" oleh *International Union for Conservation of Nature* (IUCN). Penangkapan yang berlebihan telah menyebabkan spesies *sturgeon stellate* akan gagal dipulihkan dan diperkirakan akan punah pada 2042 tanpa adanya penambahan stok, prioritas pemulihan stok adalah dengan menanggulangi *illegal fishing* terlebih dahulu.

Menurut Borit and Olsen (2012), masalah IUU Fishing di dunia perikanan harus dipertimbangkan dengan serius dan harus mendapat perhatian dari berbagai kalangan peneliti, pengelola perikanan, pembuat kebijakan, NGO's, dan industri perikanan. Sebagai respon dari peningkatan masalah IUU Fishing yang terjadi secara Global, FAO telah mengembangkan *International Plan of Action to Prevent, Deter, and Eliminate Illegal, Unreported, Unregulated Fishing* (IPOA-IUUF).

Menurut data KKP pelanggaran *illegal fishing* di Indonesia sampai dengan bulan Mei tahun 2019, tercatat sebanyak 526 unit kapal milik pencuri ikan yang telah ditenggelamkan. Dengan rincian sebanyak 276 kapal berasal dari Vietnam; 90 kapal berasal dari Filipina; 50 kapal berasal dari Thailand; 54 kapal berasal Malaysia; 36 kapal berasal dari Indonesia, 2 kapal berasal dari Papua Nugini, dan 1 kapal dari Tiongkok, Belize, serta Nigeria (Gambar 107). Untuk modus operandinya, menurut analisis Satgas 115 ada 13 modus operandi yang banyak dilakukan (Gambar 108).



Gambar 107. Grafik negara asal pelanggar *Illegal Fishing* terbesar sampai dengan April 2019 (Disarikan dari humas ditjen PSDKP 2019)



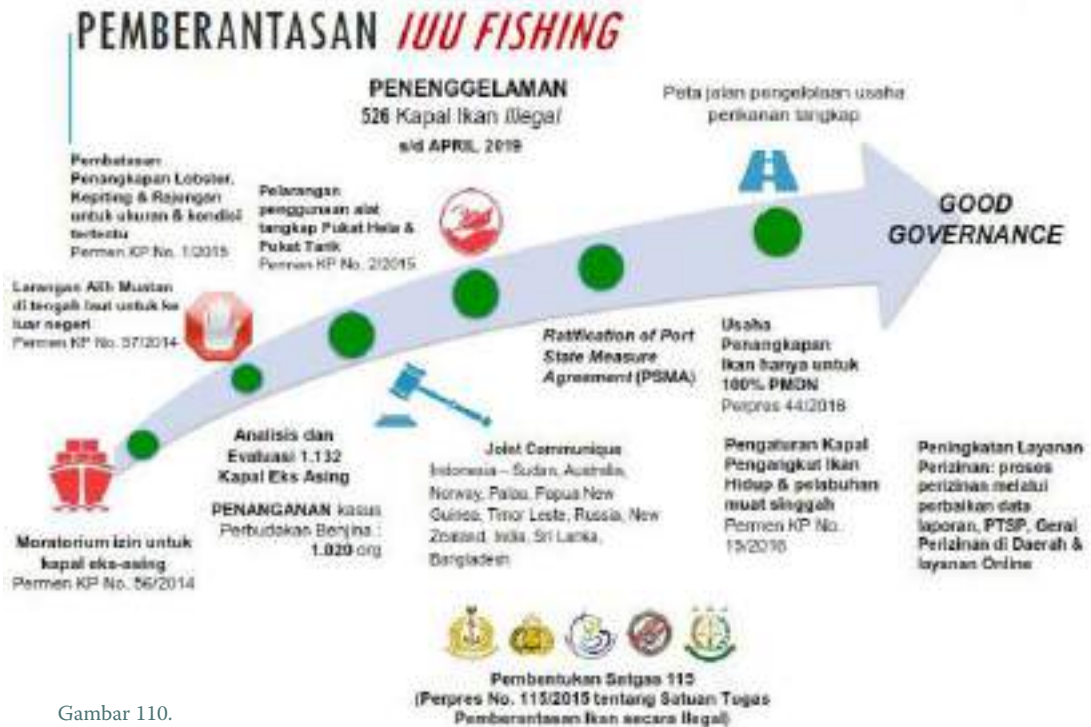
Gambar 108. Modus operandi kejahatan *IUU Fishing* di Indonesia (Photo credit: Satgas 115)

Pemberantasan *IUU Fishing*

Pemberantasan *IUU Fishing* secara global telah dilakukan dengan dibentuknya IPOA-IUUF yang memiliki tujuan untuk mencegah dan menanggulangi *IUU Fishing* dengan memberikan pedoman langkah-langkah komprehensif, efektif, dan transparan kepada semua negara anggota yang dapat digunakan untuk bertindak, termasuk melalui organisasi manajemen perikanan regional yang tepat yang didirikan sesuai dengan hukum internasional.

Road map pemberantasan *IUU Fishing* (Gambar 110) di Indonesia sudah dilakukan sejak lama, namun periode tahun 2014 – 2018 merupakan lompatan besar dalam pemberantasan *IUU Fishing*. Indonesia melalui Direktorat Jendral Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan, KKP, telah membentuk Satgas 115 yang khusus menangani pelanggaran *IUU Fishing* pada tahun 2014.

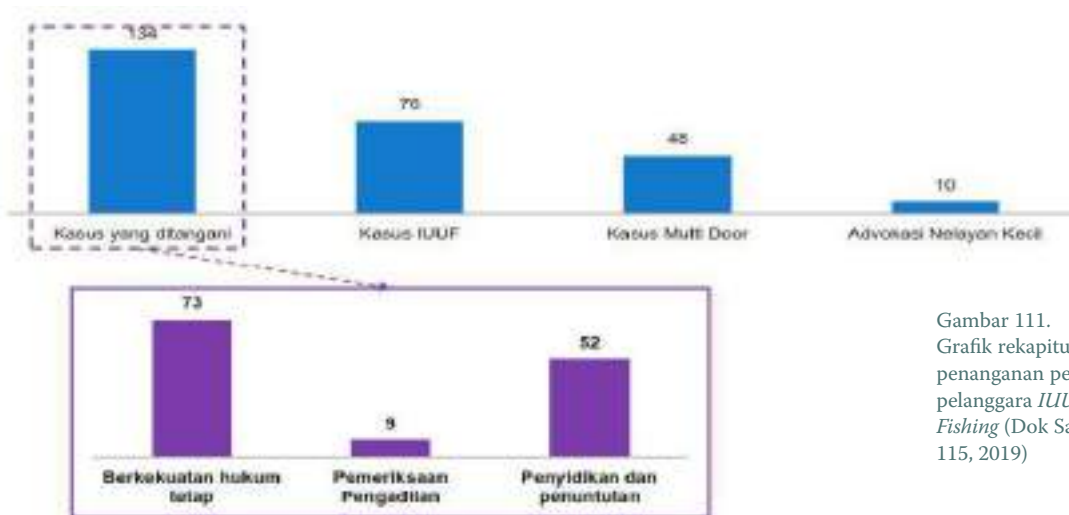
Gambar 109. Penenggalaman Kapal Pelaku IUU Fishing. Road map pemberantasan IUU Fishing di Indonesia sudah dilakukan sejak lama namun pada 2014 – 2018 merupakan lompatan besar dalam pemberantasan IUU Fishing (Photo credit: KKP).



Gambar 110. Road map pemberantasan IUU Fishing di Indonesia (Photo credit: Satgas 115, 2019)

Menurut data dari Ditjen PSDKP sampai dengan akhir tahun 2018 telah terjadi pelanggaran sebanyak 526 kasus. Dari 526 kasus tersebut tercatat sudah 134 putusan pengadilan perikanan telah ditangani dan dijatuhi hukuman kepada para pelaku *IUU Fishing* (Gambar 111).

Dari 134 kasus yang tertangani dalam perkara *IUU Fishing* berpotensi menghasilkan Rp24,951 miliar dari pengenaan denda dan Rp28,933 miliar dari hasil pelelangan barang bukti ikan hasil rampasan (Gambar 112).



Gambar 111. Grafik rekapitulasi penanganan pelaku pelanggaran *IUU Fishing* (Dok Satgas 115, 2019)



Gambar 112. Potensi pendapatan negara dari penanganan kasus *IUU Fishing* (Disarikan dari Satgas 115, 2019)

Peraturan Terkait Kegiatan *IUU Fishing*

1. *Agreement to promote compliance with international conservation and management measures by fishing vessel on the high seas, 1993.*

Persetujuan ini dimaksud untuk meningkatkan ketaatan kapal-kapal perikanan terhadap ketentuan-ketentuan konservasi sumber-sumber perikanan di laut lepas dan merupakan pelaksanaan dari konsep-konsep pengelolaan perikanan yang diatur dalam CCRF.

Dalam persetujuan ini, ada 2 (dua) kewenangan yang diberikan kepada negara peserta, yaitu :

- ❖ Untuk menerbitkan izin kapal perikanan yang beroperasi di laut lepas;
- ❖ Untuk mengecualikan kapal-kapal perikanan yang panjangnya kurang dari 24 meter dari ketentuan-ketentuan yang tercantum dengan tujuan yang ingin dicapai dalam persetujuan ini.

2. *Agreement for the implementation of the provisions of the unclos of 10 December 1982 relating to the conservation and management of straddling Fish Stocks and Highly Migratory Fish Stock (United Nations Implementing Agreement /UNIA) 1995.*

Berdasarkan ketentuan UNIA 1995, konservasi dan pengelolaan jenis-jenis ikan yang beruaya terbatas maupun jenis-jenis ikan yang bermigrasi jauh dimandatkan untuk diatur lebih lanjut dalam organisasi perikanan regional (*Regional Fisheries Management Organisation/ RFMOs*). Pada saat ini telah berdiri beberapa RFMOs yang berada di sekitar Indonesia, antara lain Komisi Tuna Samudra Hindia (*Indian Ocean and Tuna Commission/IOTC*), Komisi Perikanan untuk Pasifik Barat dan Tengah (*Western and Central Pacific Fisheries Commission/ WCPFCI*), dan Konvensi tentang Konservasi Tuna Sirip Biru (*Convention on the Conversation of Southern Bluefin Tuna/CCSBT*).

Indonesia pada saat ini belum menjadi anggota penuh dari berbagai organisasi perikanan regional tersebut dan masih berstatus sebagai peninjau (*observer*) dalam WCPFC dan CCSBT, kecuali IOTC. Indonesia menjadi anggota penuh IOTC setelah persetujuan ini diratifikasi dengan keputusan presiden pada tahun 2008. Beberapa negara di kawasan Samudra Hindia dan Samudra Pasifik telah meratifikasi UNIA 1995, misalnya Maldives, India, Sri Lanka, Fiji, Solomon Islands, dan Australia.

3. Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2004 tentang Perikanan *jo* Undang-Undang Nomor 45 Tahun 2009.

Undang-undang yang mengatur tentang perikanan yang di dalamnya banyak berisi aturan-aturan yang berlaku dalam kelautan dan perikanan, mulai dari bidang kelautan, perikanan tangkap, pengolahan hasil

perikanan, perikanan budidaya, pengawasan perikanan, perkarantinaaan, penelitian, dan pengembangan sumber daya manusia.

Permen KP No. 02/PERMEN-KP/2015

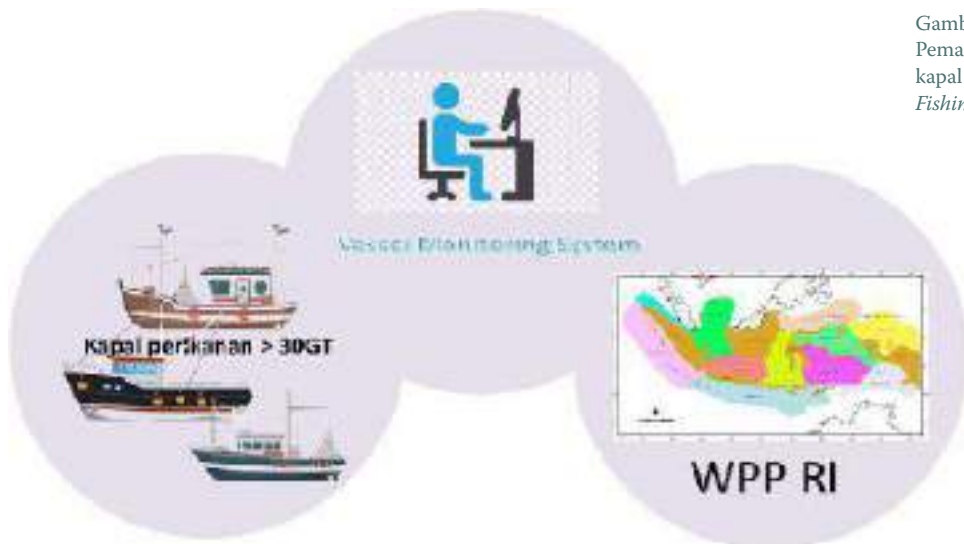
Peraturan Menteri yang dikeluarkan terkait larangan penggunaan alat penangkapan ikan pukat hela (*trawls*) dan pukat tarik (*seine nets*) di wilayah pengelolaan perikanan negara republik indonesia. Hal ini dilakukan untuk menjaga keberlanjutan perikanan tangkap di Indonesia.

Permen KP No. 42/PERMEN-KP/2015

Tentang Sistem Pemantauan Kapal Perikanan disebutkan bahwa setiap kapal perikanan berukuran lebih dari 30GT yang beroperasi di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) dan di laut lepas wajib memasang transmiter VMS.

Penggunaan Citra Satelit dan VMS dalam Penanggulangan *IUU Fishing*

Illegal fishing menyebabkan banyak kerugian baik dari aspek ekonomi, lingkungan, maupun sosial. Berbagai upaya telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) untuk mengatasi permasalahan *illegal fishing*. Salah satunya adalah dengan diperkuat oleh perangkat teknologi canggih yang dikenal dengan *Vessel Monitoring System* (VMS) atau Sistem Pemantauan Kapal Perikanan (SPKP).



Gambar 113.
Pemantauan Kapal-
kapal Pelaku *Illegal*
Fishing

Hal ini sangat penting diterapkan untuk mendukung terwujudnya kelestarian sumber daya perikanan, sehingga dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk kesejahteraan masyarakat. Penyelenggaraan VMS di Indonesia melibatkan 3 (tiga) pihak, yakni pemerintah, dalam hal ini adalah Ditjen PSDKP, KKP, sebagai penyelenggara dan hanya menyediakan sistem saja, dan tidak menyediakan transmiter dan layanan jasa satelit, pelaku usaha/pemilik kapal perikanan selaku pengguna, dan penyedia, yaitu perusahaan yang menyediakan *transmitter* VMS dan layanan jasa satelit.

Gambar 114.
Penggunaan
*Vessel Monitoring
System* pada KKP
(Disarikan dari
Satgas 115)



Penggunaan VMS sendiri telah diatur dalam Permen KP No. 42/PermenKP/2015 di mana dalam pelaksanaan di lapangan untuk transaksi pembelian transmiter VMS dan pembayaran jasa layanan satelit berupa *airtime* dilakukan langsung antara pihak pengguna dengan pihak penyedia. Pihak pengguna dapat memilih penyedia sesuai dengan keinginannya. Penyelenggara hanya merekomendasikan para penyedia yang dapat dipilih, yang dianggap telah memenuhi persyaratan administrasi dan teknis untuk melayani penyediaan transmiter VMS dan pembayaran *airtime*. Adapun pemasangan transmiter VMS dilakukan oleh penyedia atau pengguna. Karena secara teknis relatif mudah dilakukan. Pengawas perikanan akan menerbitkan Surat Keterangan Pemasangan Transmitter (SKAT) VMS bagi kapal-kapal perikanan yang telah memasang/dipasang transmiter VMS.

KKP pada tahun 2018 telah merilis sebuah karya inovatif yang sangat bermanfaat untuk pengendalian dan pengawasan sumber daya kelautan dan perikanan khususnya untuk kegiatan pencegahan *IUU Fishing* yaitu *Bali Radar Ground Receiving Station* (BARATA).



Gambar 115.
Produk Inovasi
BARATA
(Photo Credit: KKP
2019)

Selain untuk pengawasan dan pengendalian inovasi BARATA juga bermanfaat untuk mencegah pencemaran laut akibat tumpahan minyak (*Oil Spill*). Dengan adanya inovasi BARATA yang telah diciptakan memudahkan para pemangku kepentingan di pemerintah yang menangani *IUU Fishing* akan lebih efektif dan efisien serta tepat sasaran.

5.6 Kebutuhan Pangan Perikanan

Kebutuhan pangan ikan terus meningkat di seluruh dunia termasuk Indonesia. Dengan meningkatnya konsumsi ikan per kapita penduduk Indonesia konsekuensinya adalah kebutuhan bahan pangan produk ikan akan meningkat. Hal ini terjadi antara lain karena selera makan masyarakat telah bergeser di mana saat ini sumber protein dari daging ikan lebih digemari dibanding jenis daging merah, seiring dengan tuntutan gaya hidup yang lebih sehat. Kebutuhan pasokan ikan tidak dapat lagi digantungkan pada hasil tangkapan tetapi juga ditunjang oleh hasil budidaya perikanan. Karena itu KKP menekankan pentingnya masyarakat mengonsumsi komoditas kelautan

dan perikanan yang diperoleh dari laut dan kawasan perairan yang bersih dan sehat. Harapan yang diinginkan adalah agar konsumsi ikan dapat menjadi kegemaran masyarakat Indonesia, tak hanya masyarakat pesisir, tetapi juga yang tinggal di kota dan pegunungan.

Tingkat konsumsi ikan Nasional mengalami peningkatan di tahun 2014 menjadi 38,14 kg per kapita per tahun dari tahun sebelumnya yang sebesar 35,21 kg per kapita per tahun. Angka ini semakin meningkat pada tahun 2015 menjadi 41,11 kg per kapita per tahun. Pada 2017, tingkat konsumsi ikan nasional ditargetkan mencapai 47,12 kg per kapita, lebih tinggi dibandingkan tahun 2016 yang sebesar 43,94 kg per kapita. Tingkat konsumsi ikan tertinggi di Provinsi Maluku (55,13 kg per kapita per tahun), dan terendah di Provinsi Jawa Tengah (22,37 kg per kapita per tahun, disusul Provinsi DI Yogyakarta (23,14 kg per kapita per tahun) pada tahun 2015. Tingkat konsumsi ikan di sebagian besar provinsi di wilayah timur berada di atas rata-rata konsumsi ikan nasional. Tingkat konsumsi ikan yang tergolong sedang dan rendah terpusat di Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara (KKP, 2017).

5.7 Sistem Logistik Ikan Nasional

Dalam rangka pemenuhan konsumsi ikan dan industri pengolahan ikan perlu adanya jaminan terhadap pengadaan, penyimpanan, transportasi dan distribusi ikan dan produk perikanan, serta bahan dan alat produksi melalui Sistem Logistik Ikan Nasional (SLIN). Sistem Logistik Ikan Nasional (SLIN) adalah sistem manajemen rantai pasokan ikan dan produk perikanan, bahan dan alat produksi, serta informasi mulai dari pengadaan, penyimpanan, sampai dengan distribusi sebagai suatu kesatuan dari kebijakan untuk meningkatkan kapasitas dan stabilisasi sistem produksi perikanan hulu-hilir, pengendalian disparitas harga, serta untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri. (Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 5/Permen-Kp/2014 tentang Sistem Logistik Ikan Nasional).

Pada pasal 4 Permen KP Nomer 5/Permen-KP/2014 tercantum empat komponen pengelolaan logistik perikanan, yaitu:

1. **Pengadaan**, yang mencakup: bahan dan alat produksi yang bersumber dari produsen, berupa antara lain pakan, benih, obat ikan, alat penangkapan ikan, es, dan bahan bakar minyak; pengadaan ikan yang bersumber dari usaha penangkapan ikan dan usaha pembudidayaan ikan; dan/atau pengadaan produk perikanan yang bersumber dari usaha pengolahan ikan.
2. **Penyimpanan**, yang mencakup: penyimpanan ikan dan produk perikanan, berupa antara lain gudang beku (*cold storage*), gudang penyimpan dan mesin pembeku; penyimpanan ikan hidup berupa antara lain kolam ikan/tambak; dan/atau penyimpanan bahan dan alat produksi, berupa antara lain gudang penyimpanan.

3. **Transportasi**, yang mencakup: transportasi ikan dan produk perikanan, berupa kapal pengangkut ikan, pesawat udara, kendaraan angkut ikan yang berpendingin maupun tidak berpendingin; transportasi ikan hidup berupa kapal pengangkut ikan, pesawat udara, kendaraan angkut ikan hidup; dan/atau transportasi bahan dan alat produksi berupa kendaraan angkut.
4. **Distribusi**, yang mencakup: distribusi ikan dan produk perikanan, berupa antara lain depo pemasaran ikan, pasar ikan, dan outlet pemasaran hasil perikanan; dan/atau distribusi bahan dan alat produksi, berupa antara lain toko dan kios.

Strategi pemasaran merupakan rencana untuk mencapai sasaran-sasaran yang diharapkan dengan mengembangkan keunggulan bersaing yang berkesinambungan melalui pasar dan program pemasaran yang digunakan untuk melayani pasar sasaran tersebut. Strategi pemasaran dapat dinyatakan sebagai dasar tindakan yang mengarah pada kegiatan atau usaha pemasaran, dari suatu kegiatan usaha dalam kondisi persaingan dan lingkungan yang selalu berubah agar dapat mencapai tujuan yang diharapkan.

Pada pasal 6 Permen KP Nomer 5/Permen-KP/2014 Strategi SLIN meliputi:

- a) Pengelolaan produksi dan pemasaran di bidang perikanan;
- b) Penyediaan dan pengembangan sarana dan prasarana di bidang perikanan;
- c) Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia di bidang perikanan;
- d) Pemanfaatan dan pengembangan teknologi informasi dan komunikasi di bidang perikanan;
- e) Pengembangan jasa logistik di bidang perikanan; dan
- f) Pengembangan kelembagaan di bidang perikanan.

Strategi dilaksanakan oleh kementerian dan pemerintah daerah provinsi dan kabupaten/kota, berupa kebijakan dan bantuan teknis sesuai kewenangannya. Secara operasional SLIN dilaksanakan oleh pelaku usaha sesuai bidang usaha dan perannya dalam rantai pasok ikan.

Sementara logistik merupakan salah satu faktor penting dalam pemasaran produk perikanan, terutama ikan yang merupakan komoditas yang sangat rentan akan penurunan kondisi kesegaran produk atau mudah rusak. Tingkat kesegaran produksi perikanan sangat bergantung pada penanganan produk dengan cepat dan tepat. Tingkat kesegaran produk perikanan sangat berpengaruh terhadap harga jualnya.

Logistik sangat berkaitan erat dengan pergerakan barang, jasa, dan informasi terkait produk. Manajemen logistik bertujuan untuk menyampaikan barang secara tepat waktu tempat, kuantitas, dan kualitas dalam kondisi baik. Penanganan produk perikanan dibutuhkan pada semua tahapan mulai dari penanganan di atas kapal saat dilakukan penangkapan hingga sampai ke tangan konsumen dalam kondisi baik. Untuk sampai ke tangan konsumen

dengan baik sesuai keinginan pembeli diperlukan suatu kegiatan utuh rantai pasok (*supply chain*).

Rantai pasok adalah sebuah kegiatan terkoordinasi yang bermula dari pemanfaatan sumber daya, pengolahan, pemasaran produk hingga ke tangan konsumen. Kegiatan ini terdiri atas organisasi, sumber daya manusia, aktivitas, informasi, dan sumber daya lainnya yang terlibat secara bersama-sama dalam memindahkan suatu produk atau jasa baik dalam bentuk fisik maupun virtual dari suatu pemasok kepada pelanggan.

Aktivitas rantai pasok mengubah bahan baku dan bahan pendukung menjadi produk barang jadi yang dapat dikirimkan kepada pelanggan pengguna akhir. Rantai pasok menghubungkan rantai nilai mulai dari hulu hingga hilir dengan tujuan untuk memenuhi permintaan pelanggan.

Keberlanjutan kegiatan perikanan sangat dipengaruhi oleh sistem rantai pasok yang dibangun oleh pelaku usaha perikanan mulai dari menangkap ikan di laut, diversifikasi produk oleh pengolah atau industri pengolahan, distribusi produk, serta pemasarannya hingga produk sampai ke tangan konsumen. Dalam kaitan ini, maka pelaku usaha mulai dari nelayan, pengolah ikan, pedagang eceran, pedagang besar/pengumpul, dan eksportir merupakan faktor penting yang saling berkaitan dalam rantai pasok perikanan.



Gambar 116.
Produksi hasil
tangkapan tuna
(Photo credit: BRPL
2019)

5.8 Peningkatan Produk Perikanan

Kebutuhan akan produk perikanan bertanggung jawab, memenuhi prinsip ketelusuran, dan menerapkan perikanan yang berkelanjutan terus berkembang dengan pesat. Kebutuhan tersebut, memaksa para pelaku industri perikanan untuk mengelola produk perikananannya melalui cara yang sehat, bertanggung jawab, dan berkelanjutan. Dalam upaya peningkatan produk perikanan diperlukan pengelolaan yang tepat dalam pemanfaatan sumber daya perikanan. Upaya pengelolaan perikanan yang dimaksud adalah mekanisme untuk mengatur, mengendalikan dan mempertahankan kondisi sumber daya ikan agar berkelanjutan dan lestari.

Pengaturan bersifat teknis mencakup pengaturan upaya penangkapan (jumlah dan ukuran kapal), jumlah hasil tangkapan, pembatasan daerah penangkapan (zonasi), waktu penangkapan berdasarkan musim penangkapan dan pemijahan ikan. Pemanfaatan sumber daya perikanan laut secara berkelanjutan harus dilakukan dengan secara bertanggung jawab (*responsible fisheries*) dengan teknologi yang berwawasan lingkungan. Teknologi yang berwawasan lingkungan dapat diterjemahkan ke dalam teknologi ramah lingkungan. Arimoto *et al.* (1999) menyatakan bahwa teknologi penangkapan ikan bukan saja ditujukan untuk meningkatkan hasil tangkapan, tetapi juga memperbaiki proses penangkapan untuk meminimumkan dampak penangkapan ikan terhadap lingkungan perairan dan biodiversitasnya.

Unit Armada Penangkapan Ikan

Peningkatan potensi perikanan Indonesia sejak diberlakukannya moratorium kapal asing, pemberantasan *IUU Fishing* serta pelarangan alat penangkapan ikan yang merusak lingkungan berkontribusi terhadap meningkatnya hasil tangkapan nelayan. Dalam hal pemanfaatan sumber daya peningkatan kapasitas unit armada penangkapan ikan perlu dilakukan dengan tujuan untuk pemberdayaan nelayan kecil agar mampu memanfaatkan sumber daya ikan yang berlimpah, melalui revitalisasi armada penangkapan ikan nelayan-nelayan kecil untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Sejalan dengan hal tersebut KKP melakukan pengadaan bantuan kapal perikanan terhadap nelayan. Bantuan kapal yang diserahkan kepada nelayan pada tahun sebelumnya mempunyai ukuran yang bervariasi (10 – 30 GT). Pada tahun ini sasaran pengadaan bantuan kapal diarahkan untuk kapal berukuran di bawah 10 GT dengan alat tangkap ikan ramah lingkungan disesuaikan dengan kebutuhan nelayan dan target sasarnya agar lebih optimal dan efektif. Bantuan yang diberikan pemerintah tidak hanya menyentuh satu sisi saja namun juga menyeluruh. Tidak hanya sarana armada penangkapan ikan, tetapi juga memberikan bantuan premi asuransi nelayan. Bantuan ini dapat digunakan dengan baik oleh nelayan untuk mendukung dan memajukan usaha nelayan yang berkelanjutan.



Gambar 117.
Kapal bantuan
nelayan Wakatobi
(Photo credit: Nova
Ely Surya, [https://
zonasultra.com](https://zonasultra.com))

Bimtek Nelayan

Potensi perikanan belum dimanfaatkan secara optimal oleh nelayan dikarenakan masih minimnya teknologi penangkapan ikan dan keterampilan mereka dalam pemanfaatan sumber daya perikanan yang tergolong masih tradisional (perikanan skala kecil). Untuk meningkatkan pengetahuan dan kemampuan nelayan dilakukan dengan memberikan pelatihan dan bimbingan teknis dengan harapan SDM nelayan bisa terampil dan terlatih dalam pemanfaatan teknologi penangkapan sehingga semakin produktif dan dapat meningkatkan pendapatan serta kesejahteraan nelayan.

Pelatihan teknis untuk nelayan, guna meningkatkan kapasitas kemampuan nelayan agar semakin produktif dalam pemanfaatan sumber daya ikan. Tujuan bimbingan teknis nelayan adalah untuk menambah pemahaman dan kesadaran nelayan akan pengelolaan sumber daya ikan yang berkelanjutan, pengembangan usaha perikanan yang terkait dengan kapal perikanan, alat penangkapan ikan, permesinan, dan usaha penangkapan ikan. Sasaran yang ingin dicapai adalah terwujudnya nelayan yang semakin lengkap pengetahuannya, terampil, terlatih, dan kompetitif dalam pengembangan usaha penangkapan ikan dan dapat menjadi contoh serta menularkan ilmunya kepada nelayan lainnya.

Penataan Perizinan Usaha Perikanan.

Guna mendorong nelayan melakukan aktivitas penangkapan ikan dan memperkuat basis data kapal nasional, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) melalui Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap (DJPT) mengoptimalkan tata kelola perizinan kapal perikanan dengan tetap mengedepankan pelayanan prima. KKP akan mempersingkat proses perizinan kapal perikanan menjadi tiga izin saja, Surat Izin Usaha Perikanan (SIUP), Buku Kapal Perikanan (BKP), dan Surat Izin Penangkapan Ikan (SIPI).

Penataan perizinan terhadap kapal perikanan menjadi salah satu fokus utama KKP untuk menyelamatkan sumber daya ikan dari kerusakan akibat penggunaan alat tangkap yang tidak ramah lingkungan. KKP berupaya mempermudah proses perizinan dengan membuka gerai perizinan di sejumlah daerah potensial di Indonesia. Gerai perizinan merupakan bentuk komitmen pemerintah untuk memberikan kemudahan pada pengurusan perizinan kapal.

Jumlah izin yang diterbitkan di setiap provinsi dapat dijadikan sebagai data dasar pendugaan potensi sumber daya perikanan di wilayah tersebut. Hal ini menjadi acuan dalam perhitungan alokasi penangkapan ikan dalam satu wilayah pengelolaan melalui integrasi basis data kapal perikanan secara nasional, yaitu basis data kapal izin pusat diintegrasikan dengan data kapal izin daerah. KKP menyiapkan mekanisme penerbitan izin daerah yang terintegrasi secara *online* untuk dengan harapan terwujudnya basis data kapal perikanan secara nasional.

Saat ini, KKP terus melakukan upaya agar proses perizinan berjalan cepat, mudah, transparan dan terkendali, diantaranya melalui Implementasi

pelayanan terpadu satu pintu (PTSP), pelayanan informasi perizinan usaha perikanan tangkap secara online melalui laman: www.perizinan.kkp.go.id dan *e-Service*. Percepatan perizinan ini diupayakan untuk penambahan jumlah kapal penangkapan ikan di dalam negeri. Di mana hal ini diduga akan berdampak pada meningkatnya jumlah produksi perikanan tangkap.



Gambar 118.
Alur proses perijinan kapal
(Photo credit:
<https://news.kkp.go.id>)

Standar Mutu dan Keamanan Produk Perikanan

Peningkatan nilai produksi perikanan dapat dilakukan dengan cara peningkatan mutu kualitas produksi hasil tangkapan nelayan dibandingkan dengan penambahan kuantitas. Peningkatan potensi sektor perikanan merupakan peluang yang bisa dimaksimalkan dalam pemanfaatannya agar lebih optimal dengan cara penangkapan ikan yang benar dan bertanggungjawab.

Saat ini produksi hasil tangkapan dalam jumlah banyak tetapi kualitasnya belum diperhatikan dengan baik. Harapan ke depannya dengan peningkatan kualitas produk perikanan maka akan terjadi peningkatan nilai produk yang dapat berpengaruh langsung terhadap peningkatan pendapatan masyarakat nelayan.

☛ Kesegaran Ikan

Upaya peningkatan kapasitas bagi nelayan dan penyuluh perikanan melalui pelatihan (*training*) manajemen mutu bagi nelayan dan penyuluh perikanan merupakan langkah penting dalam pengelolaan produk hasil tangkapan ikan untuk mempertahankan mutu kesegaran ikan. Pengetahuan nelayan dalam melakukan kegiatan proses penanganan ikan yang baik dan benar mulai di atas kapal sampai ke tangan konsumen agar kualitas hasil tangkapan dapat terjaga sehingga hasil tangkapan tetap bermutu baik dan memiliki nilai jual yang tinggi di pasaran.

Penanganan ikan yang baik di atas kapal merupakan langkah awal yang paling efektif mempertahankan kesegaran mutu ikan hasil tangkapan, diikuti dengan penanganan ikan yang baik di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) atau di tempat pendaratan ikan hingga ke tangan konsumen.

Produk kelautan dan perikanan Indonesia mempunyai Standar Nasional Indonesia (SNI) yang resmi diakui secara nasional dan internasional. KKP sudah menerapkan Sistem Manajemen Mutu Terpadu Hasil Perikanan yang merupakan salah satu upaya untuk mencapai tingkat pemanfaatan potensi sumber daya perikanan secara berdaya guna. SNI kelautan dan perikanan juga sekaligus melindungi masyarakat dari hal-hal yang merugikan dan membahayakan konsumen.

Di dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 57 tahun 2015 tentang Sistem Jaminan Mutu dan Keamanan Hasil Perikanan serta Peningkatan Nilai Tambah Produk Hasil Perikanan, dijelaskan bahwa upaya pencegahan dan pengendalian yang harus diperhatikan dan dilakukan sejak praproduksi sampai dengan pendistribusian untuk menghasilkan hasil perikanan yang bermutu dan aman bagi kesehatan manusia.

Untuk melaksanakan ketentuan dalam Pasal 32 ayat (5) Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2015, Kementerian Kelautan dan Perikanan menetapkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 74/Permen-Kp/2016 Tentang Pengendalian Mutu dan Keamanan Hasil Perikanan yang masuk ke dalam wilayah negara Republik Indonesia.



Gambar 119.
Produk daging tuna
segar. (Photo Credit:
BRPL 2019)

☛ Sertifikasi Mutu Produk

Masalah kualitas saat ini menjadi persyaratan utama dalam hal penjualan produk perikanan. Penanganan ikan dari saat penangkapan hingga sampai dengan di tangan pembeli harus terus ditingkatkan. Kebutuhan sertifikasi mutu produk muncul karena pembeli yang berasal dari negara tujuan ekspor memberikan syarat sertifikasi untuk produk perikanan yang akan dibeli. Sehingga setiap produk yang dijual harus bisa memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh negara pembeli (*buyer*).

Marine Stewardship Council (MSC), sebuah lembaga yang mengesahkan standar untuk usaha perikanan berkelanjutan menjadi acuan bagi beberapa perusahaan perikanan Indonesia. Pengesahan dilakukan terhadap produk yang memenuhi kriteria prosedur keberlanjutan lingkungan dan telah dikelola dengan baik. Sebuah usaha perikanan dapat meminta untuk disertifikasi akan dinilai oleh tim pakar dari MSC yang bersifat independen dan sertifikat akan diberikan jika telah terbukti sesuai standar.

Standar produk perikanan yang ditetapkan MSC berbasis ilmu pengetahuan untuk perikanan berkelanjutan, menetapkan ketentuan bahwa semua hasil produk perikanan harus dapat dipastikan berasal dari sumber yang dikelola secara baik dan berkelanjutan. Perikanan di seluruh dunia melakukan praktik pengelolaan yang baik untuk keamanan pekerjaan, menjamin ketersediaan stok ikan untuk masa depan serta melindungi lingkungan laut. Hal ini berarti perikanan berkelanjutan dapat diakui dan dihargai serta memberikan suatu jaminan kepada konsumen bahwa makanan produk hasil laut (*seafood*) yang ada berasal dari sumber yang dikelola dengan baik secara berkelanjutan.

Prinsip utama standar perikanan MSC:

- 1) Target stok ikan yang berkelanjutan: praktik usaha penangkapan ikan harus dilakukan dengan cara yang tidak menyebabkan penangkapan berlebih dan penurunan populasi, sedangkan bagi populasi ikan yang telah mengalami penurunan, penangkapan ikan harus dilakukan dengan cara yang dapat memastikan pemulihan populasi ikan tersebut.
- 2) Dampak lingkungan dari penangkapan ikan: operasi penangkapan ikan harus dapat memelihara struktur, produktivitas, fungsi, dan keragaman ekosistem (termasuk habitat dan spesies yang tergantung dan terkait secara ekologis).
- 3) Pengelolaan yang efektif: perikanan mengaplikasikan sistem pengelolaan efektif yang menghormati hukum dan kebijakan lokal, peraturan nasional maupun internasional dan menggabungkan kerangka kerja kelembagaan yang bertanggung jawab dan berkelanjutan.

Untuk bisa mendapatkan sertifikat dari MSC, pelaku industri harus memiliki pemahaman terhadap perikanan berkelanjutan dan bertanggung jawab dengan memperhatikan kondisi stok, habitat, dan manajemen. Dengan demikian pelaku usaha memahami pengelolaan perikanan dengan baik dan memenuhi standar dunia dengan tidak meninggalkan prinsip perikanan berkelanjutan yang bertujuan kelestarian sumber daya dan pemanfaatan yang berkelanjutan.

5.9 Perikanan Bertanggung Jawab (*Responsible Fisheries*)

Perikanan berkelanjutan atau *sustainable fisheries* merupakan salah satu agenda sentral dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang ditujukan untuk memperkuat peran dari sektor perikanan tangkap dan akuakultur dalam aspek pemenuhan nutrisi, dan keamanan pangan sekaligus konservasi sumber daya ikan. Pengembangan kedua sektor ini harus dilakukan secara berkelanjutan baik secara ekonomi, sosial, dan lingkungan yang telah sepakati oleh hampir semua negara-negara di dunia, termasuk Indonesia melalui *FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries* (CCRF).

CCRF memiliki paling tidak 6 *core targets* yang sejalan dengan kebijakan pembangunan perikanan secara umum di Indonesia yaitu pengelolaan perikanan (*fisheries management*), operasi penangkapan (*fishing operations*), pembangunan akuakultur (*aquaculture development*), integrasi perikanan ke dalam pengelolaan kawasan pesisir (*integration of fisheries into coastal area management*), pasca panen dan perdagangan (*post-harvest practices and trade*) serta penelitian perikanan (*fisheries research*).

Prinsip-prinsip pengelolaan perikanan yang dimaksud dalam CCRF merupakan panduan pengelolaan perikanan dalam mengimplementasikan perikanan bertanggung jawab (*responsible fisheries*) untuk mencapai pengelolaan perikanan secara menyeluruh yang berkelanjutan (*sustainable*

fisheries). Pentingnya menjaga kelestarian sumber daya perikanan yang ada pada tatanan pemanfaatan optimal dalam mencegah pemanfaatan berlebih (*over fishing*) dan kelebihan kapasitas upaya yang dilakukan (*excess capacity*).

Keberlanjutan pemanfaatan sumber daya tidak hanya diartikan keberlanjutan penangkapan ikan saja, tetapi lebih dimaksudkan pada keberlanjutan kegiatan sosial komunitas masyarakat perikanan (*sustainable sociocommunity*) yang dapat dicapai dengan pendekatan langsung terhadap masyarakat perikanan (*stakeholder*) yang berhubungan dengan kegiatan perikanan agar berperan aktif dalam pengelolaan, pemanfaatan, dan pelestarian sumber daya.



Gambar 120. Perikanan bertanggung-jawab (responsible fisheries)

☛ Perikanan Skala Kecil/Rakyat (*Small Scale Fisheries*)

Perikanan skala kecil (<5 GT dan 5-10 GT) mendominasi wajah pemanfaatan sumber daya perikanan di Indonesia (88,4 persen) yang mempunyai peranan penting dalam perekonomian nasional. Dalam perspektif sosial ekonomi, masyarakat nelayan sangat tergantung pada sumber daya perikanan laut. Hampir 70 persen dari wilayah Indonesia adalah laut dengan sumber daya yang melimpah. Pembangunan sektor kelautan dan perikanan harus mampu meningkatkan kesejahteraan rakyat Indonesia, khususnya perikanan skala kecil (*small scale fisheries*) yang merupakan mayoritas pelaku perikanan tangkap di Indonesia.

KKP telah melakukan beberapa program kebijakan yang berpihak pada perlindungan dan kesejahteraan nelayan kecil, antara lain sebagai berikut:

- ❖ Proses ijin melaut bagi kapal berukuran dibawah 10 GT
- ❖ Bantuan armada kapal dan alat tangkap ikan yang diserahkan melalui koperasi nelayan, termasuk program pelatihan untuk peningkatan kapasitas melaut, penangkapan, dan penyimpanan ikan
- ❖ Melakukan program perlindungan asuransi nelayan untuk kapal di bawah 5 GT sesuai amanat UU Nomor 27 Tahun 2006 tentang Perlindungan dan Pemberdayaan Nelayan. Mengingat nelayan sangat dekat dengan risiko yang sangat besar ketika melaut.
- ❖ Permodalan dengan pendekatan pembinaan dari lembaga pembiayaan nasional dilakukan demi membebaskan nelayan kecil dari jeratan tengkulak KKP bekerjasama dengan Otoritas Jasa Keuangan (OJK) membuat program Jaring (Jangkau Sinergi dan *Guideline*) serta perluasan Kredit Usaha Rakyat (KUR).
- ❖ Memperkuat peran penyuluh perikanan sebagai konsultan, penasehat, dan pendamping masyarakat dalam mengembangkan usaha di bidang kelautan dan perikanan.
- ❖ Program Terpadu Seribu Kampung Nelayan Mandiri Tangguh Indah dan Maju (Sekaya Maritim). Pengentasan kemiskinan nelayan di Indonesia membutuhkan keterpaduan antar lintas Kementerian/Lembaga dan perbankan. Hal itu diperlukan untuk pemenuhan kebutuhan dasar, perbaikan sanitasi dan pemukiman serta dukungan pengembangan usaha produktif bagi nelayan yang akan memberikan dampak positif bagi kehidupan nelayan dan lingkungan sekitarnya.
- ❖ Kartu nelayan/kartu BBM nelayan untuk penyaluran BBM bersubsidi secara transparan. Pemerintah telah menentukan kebijakan untuk memberikan alokasi kuota BBM bagi nelayan dan usaha penangkapan ikan untuk mencegah penyelewengan distribusi BBM subsidi
- ❖ Perikanan Tangkap untuk Nelayan Indonesia, di mana pemerintah telah memutuskan 100 persen asing bisa masuk ke industri pengolahan perikanan, tetapi nol persen untuk perikanan tangkap.

Gambar 121.
Armada penangkapan
ikan skala kecil/rakyat
(Photo credit: BRPL
2019)



☛ Alat Tangkap Ramah Lingkungan

Pemanfaatan sumber daya perikanan laut secara berkelanjutan harus dilakukan dengan secara bertanggung jawab (*responsible fisheries*) dengan teknologi yang berwawasan lingkungan. Teknologi yang berwawasan lingkungan dapat diterjemahkan ke dalam teknologi ramah lingkungan. Teknologi penangkapan ikan bukan saja ditujukan untuk meningkatkan hasil tangkapan, tetapi juga memperbaiki proses penangkapan untuk meminimumkan dampak penangkapan ikan terhadap lingkungan perairan dan biodiversitinya.

Masih dapat dijumpai aktivitas penangkapan ikan yang menggunakan bahan peledak dan racun sianida oleh nelayan atau orang yang tidak bertanggung-jawab. Hal ini sangat berdampak merugikan bagi biota laut yang hidup di terumbu karang. Penggunaan bahan peledak dan racun sianida tidak hanya merusak kehidupan dalam laut, tetapi juga sangat berbahaya bagi manusia yang mengkonsumsinya. Akibat rusaknya ekosistem terumbu karang diperlukan waktu berpuluh-puluh tahun untuk proses perbaikan alami terumbu karang tersebut agar dapat tumbuh menjadi indah kembali dengan sempurna.

Terumbu karang yang terkena ledakan bom akan hancur tinggal puing-puing berserakan. Terumbu karang yang rusak ini kondisinya sudah tidak stabil, larva karang akan sulit untuk tumbuh dan berkembang biak. Selain itu, terumbu karang mati ini tidak lagi menarik bagi ikan untuk tinggal. Ikan akan berpindah dan mencari tempat tinggal baru untuk melanjutkan kehidupannya. Hal ini jelas menurunkan potensi perikanan di lokasi terumbu karang tersebut yang berakibat fatal bagi nelayan pesisir yang menggantungkan kehidupannya sebagai nelayan penangkap ikan.

Penangkapan ikan dengan bahan peledak sudah digunakan sejak masa Perang Dunia II sehingga sering dianggap sebagai cara penangkapan ikan tradisional. Pengeboman ikan saat ini cenderung membuat bahan peledak sendiri menggunakan pupuk kimia dengan daya ledak tergantung kehendak pemakainya. Penggunaan bom menyebabkan banyak ikan yang mati dengan kondisi ikan yang tidak utuh lagi sehingga nilai penjualan hasil tangkapan menurun.



Gambar 122.
Ilustrasi penangkapan ikan menggunakan bahan peledak
(Photo credit: Humas KKP)

Penggunaan racun sianida (*sodium cyanide*) yang dilarutkan dalam air laut juga masih banyak digunakan untuk menangkap ikan atau organisme yang hidup di terumbu karang dalam keadaan hidup. Racun sianida sering disebut sebagai “bius” merupakan cara favorit yang digunakan nelayan untuk menangkap ikan hias maupun ikan konsumsi yang hidup di perairan karang.

Pada dasarnya, penangkapan ikan yang menggunakan cairan sianida disemprotkan ke ikan sasaran untuk mengejutkannya. Racun ini membuat ikan atau organisme lain yang menjadi sasaran “terbuis” sehingga para penangkap ikan dengan mudah mengumpulkan ikan yang pingsan tersebut. Umumnya ikan yang menjadi target penangkapan bersembunyi di dalam terumbu, dan para penangkap ikan ini merusak dengan cara membongkar terumbu karang untuk menangkap ikan tersebut.

Penggunaan racun sianida mampu membunuh seluruh makhluk hidup yang terkena racun yang memiliki kandungan zat mematikan, bukan saja ikan sasaran tangkap yang mati, tetapi juga anak hingga telurnya ikut mati yang dapat menimbulkan penurunan potensi bahkan kepunahan. Oleh karenanya pemerintah melarang keras penggunaan bahan peledak, kimia dan alat tangkap yang merusak lingkungan.

Gambar 123.
Kerusakan akibat
penggunaan bahan
beracun
(Photo credit: Evi
Nurul Ihsan/
wwf.or.id)



Peranan partisipasi aktif masyarakat nelayan sangat menentukan keberhasilan pengelolaan yang bersifat kolaborasi dari semua *stakeholder* di mana nelayan sebagai ujung tombaknya. Kapasitas masyarakat nelayan diarahkan pada pemanfaatan sumber daya secara optimal, menghindari eksploitasi berlebih, menggunakan alat tangkap yang ramah lingkungan (tidak merusak), peningkatan pengetahuan dan keterampilan. Peningkatan kesadaran nelayan dalam operasional penangkapan ikan merupakan keharusan guna pemanfaatan sumber daya yang berkelanjutan.

Dalam UU Nomor 31 Tahun 2004 tentang perikanan sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 45 Tahun 2009 dijelaskan pada Pasal 9 bahwa setiap orang dilarang memiliki, menguasai, membawa, dan/atau menggunakan alat penangkapan dan/atau alat bantu penangkapan ikan yang mengganggu dan merusak keberlanjutan sumber daya ikan di kapal penangkap ikan di WPP-RI dapat dikenai pidana dengan ancaman penjara paling lama 5 (lima) tahun dan denda paling banyak Rp2 miliar.

Nelayan-nelayan yang tidak sadar dan kurang peduli akan habitat lingkungan dan sumber daya ikan akan terus berpindah dari satu wilayah ke wilayah lain yang kondisi lingkungannya masih baik karena masih banyak terdapat ikan disana. Banyak wilayah dasar laut yang rusak yang dulu menjadi tempat kunjungan wisata, untuk kegiatan *diving* dan *snorkeling*, akhirnya kehilangan daya tariknya karena terumbu karang rusak dan tidak ada lagi karang dan ikan-ikan yang indah. Nelayan kehilangan nafkah karena tidak ada ikan, masyarakat yang lain tidak mendapat penghasilan karena para wisatawan tidak lagi datang ke tempat itu.

Teknologi penangkapan ikan bukan saja ditujukan untuk meningkatkan hasil tangkapan, tetapi juga memperbaiki proses penangkapan untuk meminimumkan dampak penangkapan ikan terhadap lingkungan perairan dan pemanfaatan sumber daya yang berkelanjutan. Pengembangan teknologi penangkapan ikan yang bertanggung jawab berdasarkan CCRF (FAO 1995) hendaknya memenuhi syarat:

- Selektivitas alat tinggi;
- Penggunaan bahan bakar rendah;
- Investasi rendah;
- Hasil tangkapan sampingan rendah;
- Hasil tangkapan segar;
- Tidak merusak habitat;
- Tidak membahayakan pengguna (nelayan);
- Aman bagi jenis ikan yang dilindungi;
- Bersifat menguntungkan;
- Dapat diterima oleh masyarakat;
- Legal.

Gambar 124.
Kriteria alat tangkap ikan
ramah lingkungan
(Photo credit: kkp.
go.id)



☛ Ukuran Ikan Layak Tangkap

Meningkatnya hasil tangkapan dan berkembangnya upaya penangkapan dalam berbagai bentuk/skala telah mengarah pada menurunnya ukuran stok sumber daya. Apabila ukuran hasil tangkapan ikan semakin mengecil, hal ini akan mengakibatkan berkurangnya jumlah ikan yang berkesempatan memijah, yang mengakibatkan rekrutmen berkurang. Terdapat keterkaitan antara berbagai alat tangkap dan skala usaha perikanan yang beroperasi terhadap ketersediaan sumber daya ikan di suatu wilayah perairan.

Untuk menanggulangi penangkapan ikan untuk ukuran yang belum layak tangkap diperlukan metode operasi penangkapan dengan alat tangkap yang selektif terhadap ukuran ikan hasil tangkapan. Pengetahuan tentang tingkah laku ikan yang menjadi sasaran utama penangkapan juga diperlukan guna pengembangan metode pengoperasian dan alat tangkap dapat lebih efektif.

Ikan-ikan yang berumur muda harus dibiarkan tumbuh dewasa dahulu sebelum ditangkap agar tercapai pola pemanfaatannya lestari. Penangkapan ikan-ikan muda yang berlebihan akan mengakibatkan kelebihan tangkap pertumbuhan (*growth overfishing*). Hal ini menyebabkan kelebihan tangkap terhadap ikan muda (*recruitment overfishing*), karena ikan-ikan muda yang belum sempat dewasa dan bertelur sudah tertangkap terlebih dahulu sehingga kehilangan kesempatan untuk penambahan individu baru (*recruitment*).

Masalah yang paling mendasar adalah nelayan tidak lagi memperhatikan komposisi ukuran ikan yang ditangkap. Hasil tangkapan didominasi oleh ukuran kecil atau belum layak tangkap. Semakin kecil ukuran rata-rata ikan yang tertangkap berarti semakin berkurang jumlah ikan yang berkesempatan memijah. Jika hal ini terus berlanjut maka dapat berdampak buruk terhadap keberlanjutan sumber daya. Untuk menanggulangi penangkapan ikan yang belum layak tangkap diperlukan metode operasi penangkapan dengan alat tangkap yang selektif terhadap ukuran ikan target. Pengetahuan tentang tingkah laku ikan yang menjadi sasaran utama penangkapan juga diperlukan agar pengembangan metode pengoperasian dan penggunaan alat tangkap dapat lebih selektif.

Pertanyaan tentang lokasi keberadaan ikan (layak tangkap) dan kapan waktu yang tepat untuk menangkap dapat dijawab dengan baik berdasarkan data monitoring hasil tangkapan ikan yang dilakukan. Data tersebut dapat dijadikan acuan pengelolaan dari segi bioekologis yang mana ditujukan untuk menangkap jenis dewasa yang telah layak tangkap. Hal ini bertujuan untuk menjaga ketersediaan stok ikan melalui pengaturan penangkapan baik dari jenis alat tangkap yang digunakan dan ukuran ikan yang diperbolehkan untuk ditangkap.

Kebijakan pengelolaan sumber daya perikanan tangkap yang berkelanjutan menjadi kunci keberhasilan dalam pemanfaatan sumber daya. Sasaran penangkapan ikan harus dilihat dengan perspektif yang berbeda tidak lagi dilihat dari jumlah (kuantitas) ikan yang banyak, tetapi lebih diarahkan pada ikan yang telah berukuran layak tangkap (kualitas). Selain karena nilai ekonomisnya yang lebih tinggi, tujuan utamanya adalah untuk menjaga keberlanjutan pemanfaatan sumber daya.

☛ Daerah dan Waktu Penangkapan Ikan

Kajian ramalan daerah penangkapan ikan (*fishing ground*) berdasarkan data kondisi oseanografi telah banyak dilakukan. Kajian diarahkan pada kondisi kesuburan perairan di permukaan yang berhubungan dengan kandungan klorofil-a. Besarnya kandungan klorofil-a di perairan berkaitan erat dengan rantai makanan. Kandungan klorofil-a yang tinggi pada perairan meningkatkan produktivitas zooplankton, sehingga mengakibatkan terjadinya suatu rantai makanan (*food chain*) yang menunjang produktivitas ikan di perairan.

Lokasi keberadaan ikan target penangkapan menjadi informasi yang sangat penting yang dibutuhkan oleh para nelayan. Teknologi saat ini telah

berkembang pesat, informasi dasar terhadap penentuan daerah penangkapan ikan dapat diduga melalui kondisi kesuburan perairan dan hubungannya dengan tingkah laku ikan yang menjadi target penangkapan. Pengamatan keberadaan ikan secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi hidroakustik berupa perambatan gelombang suara saat mengenai objek/target (ikan).

Kondisi sebaran suhu dan klorofil-a diidentifikasi menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh (citra satelit). Salah satu data satelit yang dapat dimanfaatkan untuk menganalisis suhu permukaan dan konsentrasi klorofil-a adalah data citra satelit *Aqua* yang membawa sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Kondisi suhu permukaan laut dan klorofil-a dapat digunakan sebagai petunjuk wilayah kesuburan suatu perairan yang dapat mempengaruhi keberadaan ikan yang dapat diduga melalui fenomena *front* dan *upwelling*.

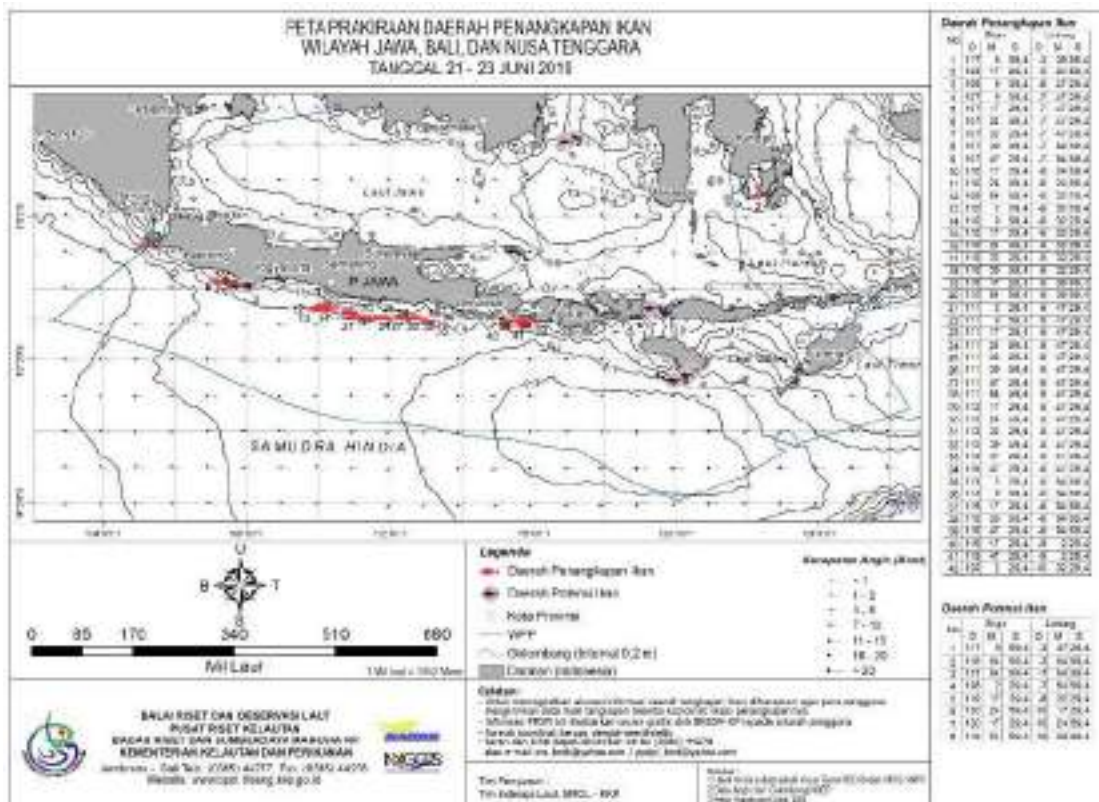
Front ditunjukkan dengan pertemuan dua massa air yang berbeda karakteristik suhu yang dapat mempengaruhi kesuburan perairan. Begitupun dengan *upwelling* yang merupakan fenomena naiknya massa air di lapisan bawah ke atas dengan suhu yang lebih rendah, salinitas lebih tinggi dengan kandungan zat hara yang tinggi yang merangsang perkembangan fitoplankton.

Informasi terkait musim penangkapan ini dapat dijadikan acuan waktu penangkapan ikan oleh nelayan. Dengan diketahuinya informasi musim penangkapan ikan, diharapkan para nelayan dapat melakukan penangkapan ikan secara lebih terencana dan efisien. Mereka dapat menangkap secara lebih intensif dan mengatur jumlah armada tangkap pada bulan-bulan musim tangkap. Informasi musim penangkapan ikan ditujukan untuk mendorong terciptanya kegiatan operasi penangkapan ikan dengan tingkat efektivitas dan efisiensi yang tinggi tanpa merusak kelestarian sumber daya ikan dan memberikan keuntungan usaha yang optimal.

Kajian musim penangkapan ikan akan menghasilkan informasi mengenai waktu atau musim yang paling tepat untuk melakukan kegiatan operasi penangkapan ikan sehingga dapat mengurangi resiko kerugian penangkapan ikan. Diharapkan operasi penangkapan ikan dilakukan pada musim normal dan puncak bukan disaat ikan kurang (paceklik), sehingga akan diperoleh hasil tangkapan yang optimum serta menjaga agar produktivitas sumber daya ikan berkelanjutan dan tetap lestari.

Berdasarkan hasil perhitungan IMP (Indek Musim Penangkapan) dapat diketahui pada saat kapan hasil tangkapan ikan pada kondisi melimpah (puncak musim), normal dan sedikit (paceklik). Umumnya kondisi musim puncak penangkapan berhubungan erat dengan kondisi kesuburan perairan di mana banyak tersedia sumber makanan bagi ikan. Kendati demikian penangkapan ikan juga harus dikaitkan dengan informasi waktu musim pemijahan ikan yang menjadi sasaran penangkapan karena pada waktu tersebut banyak terdapat ikan muda (*juvenile*) yang secara biologi belum layak

tangkap sehingga perlu difikirkan penggunaan alat tangkap ramah lingkungan yang selektif terhadap ukuran ikan yang akan ditangkap. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk menjaga kelestarian dari sumber daya ikan tersebut.



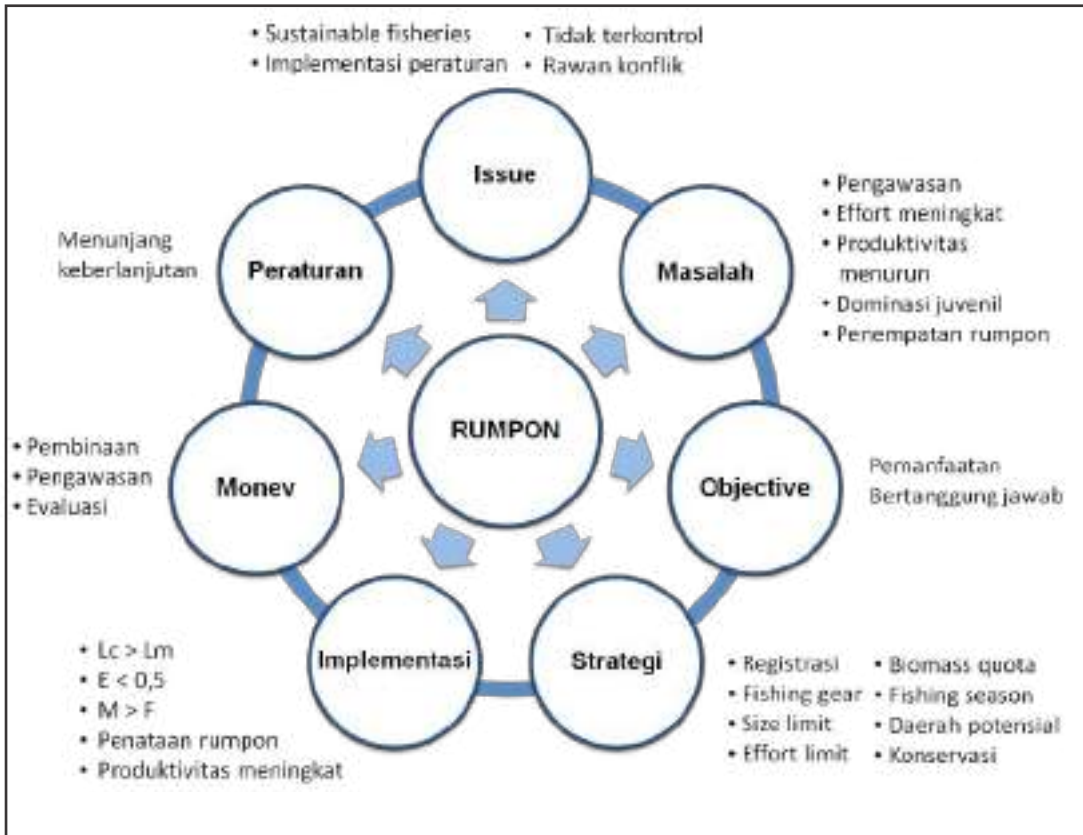
Gambar. 125. Peta perkiraan daerah penangkapan ikan wilayah Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, 21 – 23 Juni 2019. (kkp.go.id)

Rumpon Sebagai Alat Pengelola Perikanan Berkelanjutan

Rumpon merupakan alat pemikat ikan yang efektif, dimana fungsi rumpon untuk ikan sebagai: a) tempat berteduh (*shading place*); b) tempat mencari makan (*feeding ground*); c) tempat berlindung dari predator; d) titik acuan navigasi (*reference point*) bagi ikan tertentu yang beruaya; e) substrat untuk meletakkan telur. Selain itu juga berfungsi untuk mengkonsentrasikan ikan sehingga operasi penangkapan ikan dapat dilakukan dengan mudah pada wilayah penangkapan (*catchable area*) (Samples dan Sproul, 1985; Gafa *et al.* 1987; Subani dan Barus, 1988; Menard *et al.*, 2000; Dagorn *et al.*, 2000). Kemudahan tersebut menyebabkan operasi penangkapan ikan lebih efisien, menghemat waktu dan bahan bakar, karena lokasi penangkapan ikan yang sudah pasti (Subani, 1986; Monintja, 1990; Baskoro *et al.*, 2011).

Dalam rangka pemanfaatan sumber daya ikan dan lingkungannya secara bertanggung jawab, pemerintah telah mengatur tentang pemasangan dan pemanfaatan rumpon dalam Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor KEP. 30/MEN/2004 yang diperbaharui melalui Peraturan Menteri kelautan dan perikanan republik Indonesia Nomor 26/PERMEN-KP/2014 tentang Rumpon.

Gambar.126
Strategi pengelolaan rumpon
(Photo credit: Nurdin E, 2017)



Manfaat rumpon dalam memperbaiki efektivitas, efisiensi, dan operasional penangkapan ikan merupakan salah satu daya tarik bagi nelayan sehingga penggunaan rumpon semakin meningkat. Permasalahan utama saat ini adalah kurangnya pengendalian penggunaan rumpon dalam bentuk monitoring implementasi di lapangan terkait peraturan pemerintah mengenai penggunaan rumpon untuk menunjang keberlanjutan pemanfaatan.

Rumpon dapat meningkatkan produksi dalam waktu singkat, tetapi dalam waktu lama perkembangannya juga menimbulkan efek negatif, antara lain penurunan produktivitas dan stok (Monintja dan Zulkarnain 1995; Diniah *et al.*, 2006), merusak pola ruaya ikan yang bermigrasi jauh sehingga

mengganggu keseimbangan populasi akibat pemasangan rumpon yang tidak teratur dan lokasi yang berdekatan (Mertha *et al.*, 2006; Davis *et al.*, 2014) dan konflik antar nelayan (Nurdin *et al.*, 2012). Kemudahan penangkapan ikan (*harvesting*) dapat menimbulkan lebih tangkap (*over fishing*) terutama ikan ukuran kecil atau belum layak tangkap yang akan menimbulkan *recruitment overfishing* dan penurunan potensial *yield* (Damora dan Baihaqi, 2013; Davis *et al.*, 2014), serta kelebihan kapasitas penangkapan (*over capacity*) (Simbolon 2004; Nurdin *et al.*, 2012; Hufiadi dan Nurdin 2013; Davis *et al.*, 2014).

Saat sekarang ini rumpon harus dilihat dari perspektif yang berbeda bukan hanya sebagai alat bantu pengumpul ikan. Penggunaan rumpon lebih diarahkan sebagai *enhanced* habitat dengan menjaga pertumbuhan ikan berukuran kecil hingga menjadi dewasa (layak tangkap) guna terhindar dari kelebihan tangkap ikan muda (*recruitment overfishing*). Rekomendasi rumpon sebagai alat pengelolaan perikanan dapat dikembangkan untuk mengontrol operasional penangkapan (*harvest control rules*) di rumpon baik dari monitoring jumlah *effort* (produktivitas), pembatasan jumlah rumpon, maupun produksi jumlah hasil tangkapan (*biomass limit*) serta area konservasi untuk ikan yang belum dewasa (*juvenile*) berdasarkan monitoring dan kajian yang lebih mendalam.

Monitoring terhadap implementasi peraturan pemerintah terkait pengaturan jumlah rumpon dan armada penangkapan perlu ditingkatkan untuk menjaga kelangsungan usaha perikanan rumpon yang berkelanjutan. Pemanfaatan dan pengelolaan secara bersama oleh beberapa kelompok nelayan (*community based management*), pengendalian terhadap jumlah upaya penangkapan ikan (*effort*), khususnya armada penangkapan ikan, diharapkan dapat memperbaiki tingkat pemanfaatan sumber daya yang ada.

Monitoring dan analisis data tingkat eksploitasi berdasarkan ukuran layak tangkap (*size limit*), waktu penangkapan dan lokasi keberadaan ikan layak tangkap untuk mendapatkan rumusan kebijakan berdasarkan hasil penelitian yang terpercaya dengan prinsip kehati-hatian (*precautionary approach*). Pendekatan ini merupakan bentuk strategi pengelolaan perlindungan dan konservasi sumber daya perikanan.

Pengelolaan perikanan dapat diarahkan pada konservasi area penentuan lokasi pemanfaatan, zona inti atau zona dilarang menangkap berdasarkan data monitoring keberadaan ikan ukuran kecil, zona penangkapan ikan yaitu zona lokasi ikan layak tangkap. Pengaturan waktu penangkapan berdasarkan musim penangkapan dan waktu pemijahan. Dari segi teknologi penggunaan alat tangkap ramah lingkungan sesuai ketentuan CCRF. Penempatan rumpon di laut, alokasi jumlah rumpon dan jarak antar rumpon sesuai Permen KP.Nomor 26/PERMEN-KP/2014.

Peranan partisipasi aktif masyarakat nelayan sangat menentukan keberhasilan pengelolaan yang bersifat kolaborasi semua *stakeholder*, di mana nelayan sebagai ujung tombak dalam pengumpulan data di lapangan.

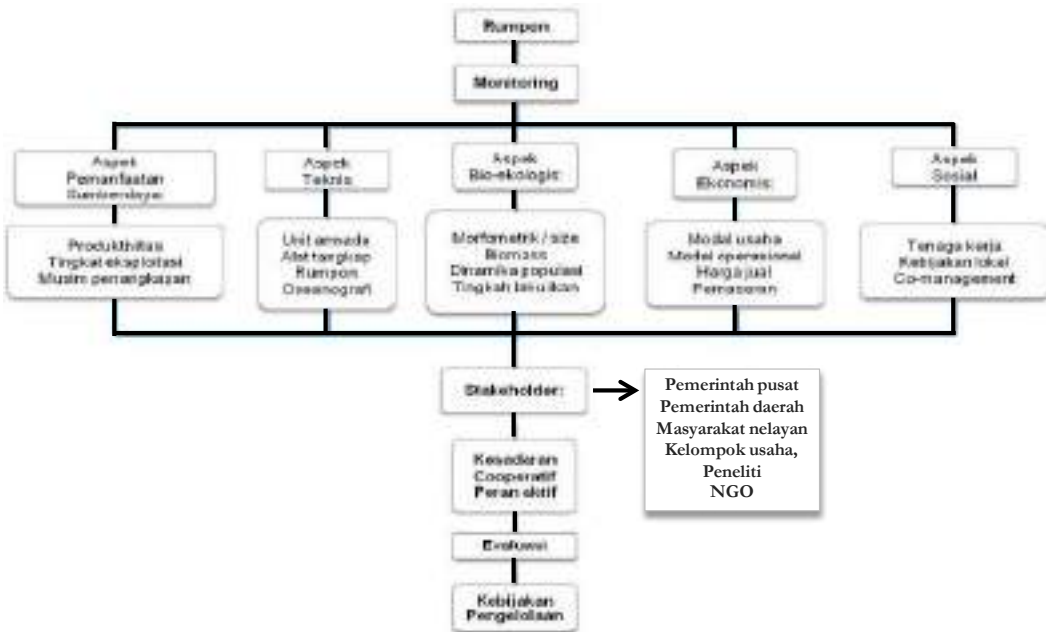
Kapasitas masyarakat nelayan diarahkan pada pemanfaatan sumber daya secara optimal, menghindari eksploitasi berlebih, menggunakan alat tangkap yang ramah lingkungan, peningkatan pengetahuan dan keterampilan. Peningkatan kesadaran nelayan dalam operasional penangkapan ikan merupakan keharusan guna pemanfaatan sumber daya yang berkelanjutan.

CCRF menyatakan perlunya kerjasama antar masyarakat perikanan (*stakeholder*) yang terlibat dalam pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya perikanan serta habitatnya guna menjamin keberlanjutan pasokan bagi generasi mendatang untuk mencapai pemanfaatan pada tingkat optimal (rasional). Di mana implementasi kebijakan pengelolaan perikanan perlu dirancang berdasarkan *best of scientific research* yang memadai untuk mencapai keberlanjutan sumber daya.

UN *Fish Stock Agreement* 1995 mengamanatkan akan pentingnya kerjasama dalam pengelolaan ikan yang bermigrasi jauh dan terbatas. Kerjasama antar negara dapat dilakukan secara langsung atau melalui organisasi sub regional atau regional, dengan mempertimbangkan karakter khusus dari subregion/region tersebut guna memastikan pengelolaan dan konservasi stok ikan secara efektif.

Perikanan tangkap yang bertanggung jawab merupakan program unggulan KKP yang tertuang dalam 3 (tiga) Pilar Misi Kementerian ini yaitu Keberlanjutan yakni Mewujudkan pengelolaan sumber daya kelautan dan perikanan yang berkelanjutan. Hasil dari pengelolaan sumber daya kelautan dan perikanan yang berkelanjutan yaitu dalam 4 (empat) tahun terakhir adalah jumlah potensi ikan yang mencapai 12.5 Juta ton dan khusus untuk komoditi tuna saat ini Indonesia merupakan negara pengekspor terbesar di dunia.

Gambar.127
Skema rumpun sebagai alat pengelola perikanan (Sumber: Nurdin E, 2017)





*Gambar 128
Senyum Isteri
Nelayan Banda
Naira Maluku.*

BAB VI

Perikanan Budidaya Berkelanjutan

Hatim Albasri

*Pusat Riset Perikanan
Badan Riset dan SDM Kelautan Perikanan*

Sinar Pagi Sektiana

*Program Studi Teknologi Akuakultur
Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta*

Erfind Nurdin

*Balai Riset Perikanan Laut
Badan Riset dan SDM Kelautan Perikanan*

Rahmad Surya Hadi Saputra

Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang

Rita Rachmawati

*Pusat Riset Perikanan
Badan Riset dan SDM Kelautan Perikanan*

Sitasi:

Albasri H., Sektiana S. P., Nurdin E., Saputra R. S. H., & Rachmawati R. 2019. Perikanan Budidaya Berkelanjutan, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Perikanan Budidaya Berkelanjutan

Akuakultur secara global didefinisikan FAO sebagai “usaha budidaya organisme air termasuk ikan, moluska, krustasea, dan tanaman air secara terkontrol yang bertujuan untuk meningkatkan produksi, dimiliki, dan diusahakan oleh individu atau badan usaha”. Indonesia mengadopsi definisi FAO ini di mana padanan kata “akuakultur” adalah “budidaya ikan” yang didefinisikan sebagai “kegiatan untuk memelihara, membesarkan, dan atau membiakkan ikan serta memanen hasilnya dalam lingkungan terkontrol termasuk kegiatan transportasi, penyimpanan, pengolahan, dan pengawetan (UU Perikanan No. 45/2009). Kedua definisi ini secara jelas memisahkan perikanan budidaya dari perikanan tangkap melalui frase-frase “budidaya organisme air”, “lingkungan terkontrol”, dan “individu dan badan usaha”. Dalam perikanan budidaya, frase “individu dan badan usaha” merujuk kepada perorangan atau badan usaha yang mengelola seluruh atau sebagian aktivitas pemeliharaan ikan dan sampai dengan memanen hasilnya. Definisi perikanan budidaya ini akan berubah arti menjadi perikanan tangkap jika produk akhir dari sistem tersebut atau panen dilakukan secara terbuka oleh masyarakat. Contoh kongkritnya adalah jika dalam suatu badan air, seperti waduk, ditebar dengan benih ikan budidaya dalam bentuk *ranching* yang hasilnya bisa diambil oleh siapa saja (*open access*), maka sistem ini dikategorikan sebagai perikanan tangkap dan bukan perikanan budidaya (Edwards dan Demaine, 1997). Perbedaan konsep antara perikanan budidaya dan tangkap ini masih menjadi bahan perbedaan pendapat di diskusi ruang-ruang akademis dan publik. Hal ini terutama terjadi untuk beberapa spesies ikan yang masing mengandalkan benih dari alam (napoleon dan kerapu). Dengan merujuk pada definisi Edwards dan Demaine (1997), jenis-jenis ikan tersebut yang telah mengalami masa pemeliharaan di ruang/media budidaya dan akses panennya dikontrol oleh individu atau badan usaha dapat dikategorikan sebagai ikan budidaya. Persamaan persepsi tentu saja perlu dilakukan antar pemangku kepentingan terkait lama pemeliharaan atau fase hidup ikan untuk konsistensi pengkategorian ikan hasil budidaya atau penangkapan.

Definisi-definisi di atas juga menghasilkan pembagian tipe usaha dan skala produksi budidaya ikan yang berbeda-beda. Setidaknya terdapat empat tipe



Gambar 129. Budidaya ikan kerapu di KJA skala besar dengan latar belakang budidaya ikan kerapu skala kecil di keramba jaring tancap, Anambas (Photo credit: Albasri, 2019)

usaha budidaya ikan, yaitu budidaya ikan *subsistence* (untuk kebutuhan sendiri), budidaya ikan *artisanal* (skala kecil dan pemasaran lokal), budidaya ikan spesifik (segmentasi produksi) dan budidaya ikan industri (skala besar dan pemasaran nasional/internasional). Indonesia sendiri menyederhanakan tipe usaha perikanan budidaya menjadi usaha budidaya ikan skala kecil yang berisikan budidaya *subsistence and artisanal* serta usaha budidaya ikan skala menengah dan besar. Penyederhanaan klasifikasi tipe usaha budidaya ikan ini secara umum ditujukan untuk melindungi pembudidaya ikan kecil terkait dengan kompetisi penggunaan lahan, dukungan subsidi serta akses *input* produksi dan pasar.

Dari segi produksi, kategori budidaya ikan relatif serupa baik secara global atau nasional. Di Indonesia, perikanan budidaya secara spesifik terbagi atas ekstensif atau tradisional (mengandalkan alam untuk input produksi), semi intensif (penambahan input produksi minimal), serta intensif (input produksi secara eksklusif). Data FAO terakhir menyebutkan bahwa terdapat kurang lebih 20 juta orang yang terlibat di usaha perikanan budidaya baik di sistem air tawar, payau atau laut dengan presentasi didominasi oleh pria (83



Gambar 130.
Budidaya ikan
bandeng/udang di air
payau skala ekstensif
dengan hamparan
luas, Maros, Sulawesi
Selatan (Photo credit:
Mustafa, 2011)

persen) dan sisanya adalah wanita (17 persen) (FAO, 2018). Dari jumlah tersebut, terdapat 3.3 juta (FAO, 2018) atau 3.9 juta (Data BPS, 2018) penduduk Indonesia yang bekerja di sub sektor perikanan budidaya yang mayoritas adalah pembudidaya kecil. Dominasi pembudidaya kecil di Indonesia ini memiliki implikasi yang dapat digambarkan sebagai pedang bermata dua. Di satu sisi, dominasi pembudidaya kecil adalah manifestasi sistem perikanan budidaya yang masif dari aspek potensi produksi meskipun saat ini berada pada taraf rendah *input* dan rendah profit. Namun di sisi lain, jumlah besar ini berpotensi menjadikan perikanan budidaya di Indonesia sulit untuk dikelola untuk menjamin keberlanjutannya baik dari sisi ekonomi maupun lingkungan (Szuster and Albasri, 2010, Rimmer *et al.*, 2013).

6.1 Perikanan Budidaya Berkelanjutan

Perikanan Budidaya Berkelanjutan atau *sustainable aquaculture* diturunkan dari definisi umum "sustainability" yang berarti pemanfaatan sumber daya perikanan budidaya yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan generasi saat ini dan secara bersamaan menjamin bahwa generasi masa depan dapat terus memanfaatkan sumber daya tersebut (WCED, 1987). FAO lebih jauh menjelaskan bahwa perikanan budidaya berkelanjutan tersebut harus memenuhi syarat tidak merusak lingkungan, secara teknis sesuai, menguntungkan secara ekonomi dan secara sosial dapat diterima oleh masyarakat pengguna.

Ide perikanan budidaya berkelanjutan dicetuskan lebih dari 30 tahun silam berdasarkan pada proyeksi bahwa budidaya ikan akan menjadi tumpuan di masa depan dalam penyediaan sumber protein hewani dan adanya kecenderungan stagnasi produksi perikanan tangkap. Produksi perikanan

budidaya meningkat lebih dari enam kali lipat dibandingkan 30 tahun lalu dan diproyeksikan menjadi dua kali lipat di tahun 2050 (Subasinghe, 2017). Sebagai satu aktivitas ekonomi, peningkatan produksi tentu saja akan berimbas pada meningkatnya pengaruh negatif perikanan budidaya baik secara ekonomi, sosial dan lingkungan yang tidak hanya merugikan sektor lain, namun juga perikanan budidaya itu sendiri.

Tidak heran jika muncul sebagian pandangan publik bahwa perikanan budidaya termasuk aktivitas ekonomi *exploitatif* yang membutuhkan energi dan sumber daya yang tinggi serta berpotensi menghasilkan limbah di setiap rantai produksinya (Subasinghe, 2017, Little *et al.*, 2018). Untuk menjawab stigma tersebut sekaligus membangun kesadaran bersama dari setiap *stake holder* terkait, konsep perikanan budidaya berkelanjutan kemudian dibangun dan berevolusi sehingga diterima oleh hampir semua negara. Di Indonesia, perikanan budidaya berkelanjutan ditransformasikan ke dalam langkah-langkah strategis, pengembangan, dan preventif untuk menjamin keberlanjutan fungsinya baik secara ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Perspektif internasional yang saat ini dilakukan oleh Indonesia dalam mengendalikan pembangunan perikanan budidaya sehingga dapat berkelanjutan didasarkan pada 5 aspek utama (Bappenas, 2014) yaitu:

1. *Input control*, mengendalikan penggunaan input produksi seperti benih, pakan, investasi, media budidaya serta lokasi budidaya
2. *Output control*, mengendalikan jumlah *output* seperti total hasil budidaya dan limbah
3. *Technical measures*, mengendalikan teknik budidaya yang dilakukan seperti penggunaan probiotik, pembatasan spesies hibrid, desain/konstruksi budidaya yang efisien dan ramah lingkungan.
4. *Ecosystem based management*, pengendalian kegiatan budidaya yang selalu mengedepankan konektivitas dan keseimbangan antara kepentingan socio-ekonomi perikanan budidaya dengan perlindungan lingkungan, misalnya pengurangan jumlah Keramba Jaring Apung (KJA) ketika hasil evaluasi buangan limbah melebihi ambang batas lingkungan.
5. *Indirect economic instruments*, mengendalikan instrumen ekonomi yang berdampak langsung dalam sistem budidaya, seperti pajak progresif dengan makin besarnya skala usaha atau subsidi input dan infrastruktur di wilayah dimana perikanan budidaya belum berkembang atau mengalami stagnasi.

Sebagai negara berkembang dan adanya pertimbangan dominannya pembudidaya skala kecil, perikanan budidaya berkelanjutan di Indonesia masih berevolusi pada tahap peningkatan produksi. Namun secara bertahap, perikanan budidaya Indonesia telah memulai mengembangkan aspek budidaya ramah lingkungan, usaha konservasi sumber daya ikan (SDI) perikanan budidaya dan mengurangi pengaruh negatif dari kegiatan perikanan budidaya.

Penerapan ke-5 aspek kontrol di atas juga telah dilakukan di Indonesia meskipun masih dalam tahap awal dan sporadis. Salah satu alasannya adalah pelaku utama perikanan budidaya di Indonesia didominasi oleh pembudidaya skala kecil yang secara geografis tersebar, tidak terdata atau diatur dengan baik, serta cenderung mengalami eksploitasi oleh pembudidaya besar/*middle man* (Rimmer *et al.*, 2013). Bappenas (2014) mengidentifikasi setidaknya terdapat 24 permasalahan di sistem perikanan budidaya Indonesia yang terdistribusi ke dalam aspek ekonomi, sosial, lingkungan dan kelembagaan. Dari 24 permasalahan tersebut, ketersediaan pakan, benih unggul dan penyediaan tata ruang budidaya yang berkelanjutan teridentifikasi sebagai permasalahan utama.

6.2 Perikanan Budidaya Berbasis Ekosistem

Arah pembangunan perikanan budidaya saat ini difokuskan pada pembangunan berbasis ekosistem atau *Ecosystem Approach to Aquaculture* (EAA) (FAO, 2010). EAA pada prinsipnya adalah strategi pembangunan perikanan budidaya yang berkelanjutan yang berdasarkan pada tiga pilar utama yaitu:

1. Memastikan kesejahteraan masyarakat baik pembudidaya maupun masyarakat luas yang terkait dengan proses dan hasil perikanan budidaya.
2. Memastikan perlindungan lingkungan lokal, regional dan global yang terdampak secara langsung maupun tidak langsung oleh pembangunan perikanan budidaya.
3. Memfasilitasi konektivitas and keseimbangan keduanya, yang tentu saja disesuaikan dengan arah kebijakan pembangunan perikanan budidaya nasional.

Di Indonesia, prinsip-prinsip EAA ini tercermin jelas dalam kebijakan-kebijakan pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan. Misalnya, dalam Program Cara Budidaya Ikan yang Baik (CBIB), Cara Perbenihan Ikan yang Baik (CPIB), atau Cara Pengolahan Pakan Ikan yang Baik (CPPIB) tersirat dengan jelas arah pembangunan perikanan budidaya yang mendukung aktivitas budidaya dan memastikan bahwa aktivitas tersebut dilakukan secara ramah lingkungan. Program-program ini juga ditujukan untuk merespon permintaan laur negeri terkait sertifikasi produk-produk perikanan agar sesuai standar Global/Euro GAP terkait aspek mutu, keamanan pangan, tanggung jawab sosial serta keberlanjutannya yang dinisiasi sejak tahun 2004. Contoh lain adalah perencanaan zonasi kawasan budidaya yang ada di kawasan perairan laut yang mengedepankan konektivitas antara hulu-hilir serta tidak tumpang tindih dengan aktivitas ekonomi lain.

Pembangunan perikanan budidaya di Indonesia menunjukkan tren yang sangat positif dan menggambarkan konsistensi Indonesia untuk mewujudkan pembangunan perikanan budidaya berkelanjutan. Beberapa contoh keseriusan

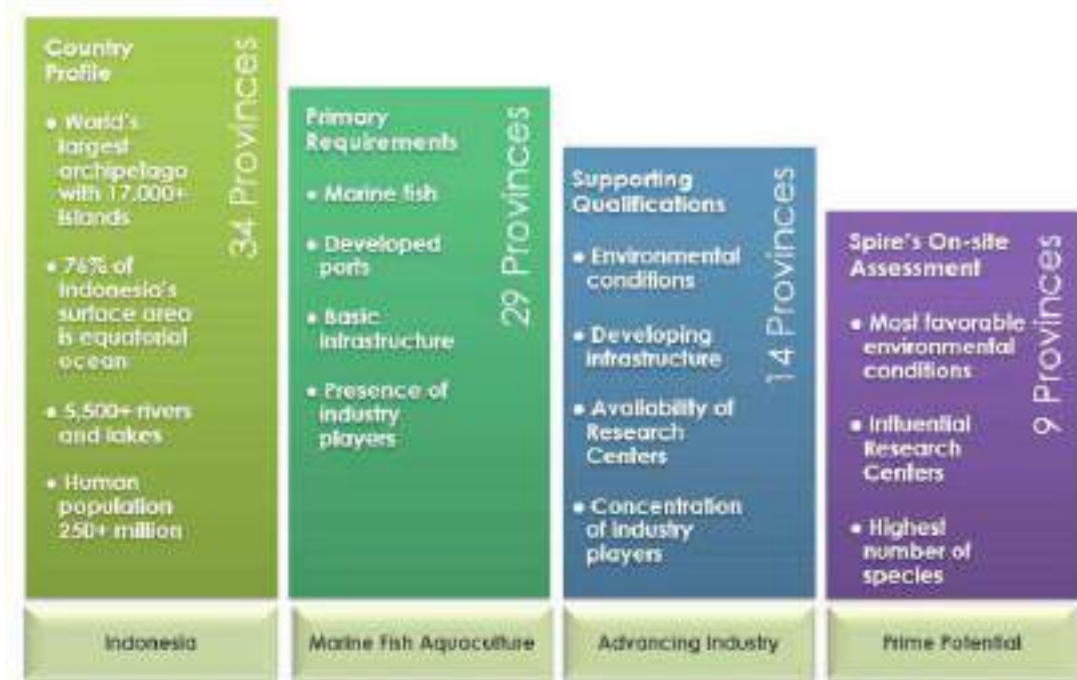
pemerintah Indonesia ini terlihat dari peningkatan target jumlah pembudidaya tersertifikasi dari 11.250 unit pada tahun 2017 menjadi kurang lebih 15.000 ribu unit pembesaran skala kecil dan besar (KKP, 2017), naiknya presentase produk perikanan bebas residu dari 97 persen menjadi 99.9 persen serta menurunnya kasus penolakan export produk budidaya Indonesia (KKP, 2015). Prinsip-prinsip *know-how* dari EAA juga dikembangkan oleh Indonesia melalui KKP dalam bentuk program Pembangunan Perikanan Budidaya Berbasis Ekonomi Biru pada 2017 dan Revolusi Teknologi Perikanan budidaya 4.0 di tahun 2018. Program Pembangunan Perikanan Budidaya Berbasis Ekonomi Biru menekankan efisiensi industri perikanan melalui pemaksimalan nilai ekonomi dari setiap segmen proses budidaya. Sedangkan Revolusi Teknologi Perikanan Budidaya 4.0 berpusat pada penggunaan sistem informasi teknologi untuk memacu pertumbuhan produksi dan pemasaran produk-produk perikanan budidaya secara efisien dan berkelanjutan.

Dari sisi potensi lahan, Indonesia memiliki potensi 8.3 juta hektar untuk budidaya laut, 1.3 juta hektar untuk budidaya air payau, 525 ribu hektar untuk budidaya air tawar, dan lahan kombinasi minapadi seluas 1.55 juta hektar (KKP, 2015). Pada tahun 2018, KKP merilis angka terbaru potensi lahan perikanan budidaya air tawar saat ini tercatat mencapai 2.830.540 ha, termasuk potensi di perairan umum daratan (sungai dan danau), dengan tingkat pemanfaatan 302.130 ha (10.7 persen). Potensi luas areal budidaya air payau teridentifikasi seluas 2.964.331 ha dengan tingkat pemanfaatan 650.509 ha (21.9 persen). Potensi luas areal budidaya laut saat ini sejumlah 12.123.383 ha, dengan tingkat pemanfaatan 325.825 ha (2.7 persen). Potensi luas areal budidaya rumput laut saat ini tercatat 1.1 juta ha atau 9 persen dari seluruh luas kawasan potensial budidaya laut yang sebesar 12.123.383 ha. Perkiraan jumlah potensi lahan ini merupakan angka paling mendekati dengan kondisi ketersediaan lahan dibandingkan dengan estimasi pada tahun 2003 yang mencapai 26 juta hektar (Tran *et al.*, 2017).

Besarnya jumlah pekerja di sektor perikanan budidaya yang dikombinasikan dengan potensi luasnya lahan tersebut serta beragamnya SDI yang ada menjadikan Indonesia diprediksi untuk terus dapat mempertahankan dominasinya dalam 5 besar produsen dunia (Rimmer *et al.*, 2013). Namun demikian, perlu kehati-hatian dalam menyikapi dan mengelola potensi-potensi tersebut agar pengembangan perikanan budidaya di Indonesia dapat dilakukan secara berkelanjutan dan memberi manfaat sebesar-besarnya bagi rakyat Indonesia. Ketertarikan negara luar untuk berinvestasi ataupun melakukan budidaya langsung sangat besar mengingat potensi sumber daya ikan dan sumber daya manusia Indonesia. Sebagai contoh, kerjasama riset antara lembaga Innovation Norway dan SPIRE Consultant (2014) merekomendasikan agar pebisnis Norwegia masuk ke Indonesia untuk berinvestasi atau melakukan aktivitas ekonomi di 9 provinsi dalam aspek perbenihan, pembesaran, pakan, vaksin, dan pengolahan produk di Indonesia (Gambar 131). Ini adalah sinyal kuat akan makin

Gambar 131. Zoom-in matrix pemetaan potensi perikanan budidaya Indonesia oleh Norwegia (sumber: SPIRE Research Consultant, 2014)

banyaknya korporasi besar dan bermodal kuat di sektor perikanan budidaya Indonesia yang menurut Rimmer *et al.*, (2013) berpotensi merugikan pembudidaya kecil Indonesia yang memiliki tingkat keterampilan teknis dan penguasaan informasi yang rendah dan *bargaining position* yang lemah.



6.3 Arah Kebijakan Pembangunan Perikanan Budidaya Indonesia

Saat buku ini ditulis, Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020 - 2024 masih dalam tahap bahasan. Namun demikian, beberapa isu terkemuka dan sering dibahas adalah peningkatan pemanfaatan areal potensial dan juga produksi budidaya laut and perairan darat (*inland waters*) khususnya untuk jenis-jenis ikan umum dan juga endemik yang memiliki nilai jual yang tinggi seperti ikan Dewa, *Tor soro*.

Khusus pengembangan ikan-ikan endemik sebagai spesies budidaya, arah pengembangan perikanan budidaya lima tahun kedepan perlu memaksimalkan peran daerah dalam mengidentifikasi serta mengembangkan jenis-jenis ikan endemik yang ada di daerahnya sebagai unggulan. Tentu saja keberpihakan pemerintah pusat dalam hal ini KKP sangat dibutuhkan untuk mendukung dengan riset domestikasi dan budidaya serta dukungan teknis dari Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya untuk distribusi benih, pembangunan sarana dan prasarana budidaya serta akses pasar.

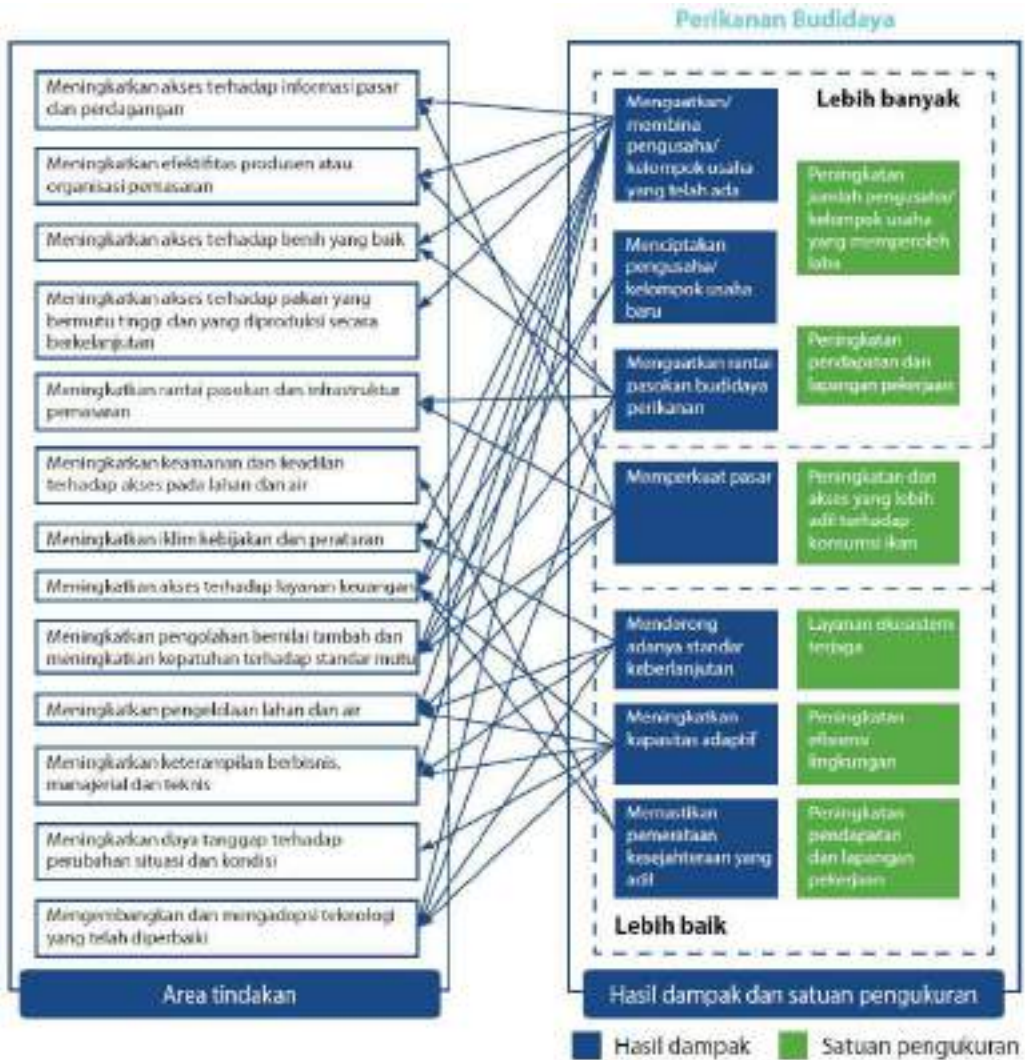
Gambar 132. Jenis-jenis ikan endemik/ asli Jawa Barat yang sebagian berpotensi sebagai komoditas ikan budidaya di Indonesia (Photo credit: Susilo, 2018)

IKAN LOKAL ASLI PERAIRAN JAWA BARAT

Disusun oleh: Sigit Susilo, Sumber : www.fishbase.de dan wikipedia.org - ©2018

No.	Nama Ikan	Spesies	Max. Panjang (cm)
1	Cabani, Tenggiri	<i>Betta pinnata</i>	max. 8 cm
2	Jelai, leanyi	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 7,5 cm
3	Ikan Kencana	<i>Aplocheilichthys pectorata</i>	max. 8 cm
4	Paku	<i>Burbotus aeneus</i>	max. 10 cm
5	Keurutek	<i>Puntius lineatus</i>	max. 10 cm
6	Melan, Manik	<i>Actinopterygii fasciata</i>	max. 25 cm
7	Labu	<i>Latesnila sp.</i>	max. 20 cm
8	Ginggetek, Naga	<i>Mylocheilichthys marginata</i>	max. 20 cm
9	Lele, Lalawa	<i>Ameletichthys sp.</i>	max. 15 cm
10	Karasa	<i>Puntius lineatus</i>	max. 25 cm
11	Tama	<i>Caranx melampelas</i>	max. 30,3 cm
12	Wancong, Kuning putih	<i>Latesnila sp.</i>	max. 40 cm
13	Parigi, Pampas	<i>Steptocentrus maculatus</i>	max. 10 cm
14	Tambak, Oran, Kencana	<i>Parachanna obscura</i>	max. 75 cm
15	Sem, Kencana, Wrasan	<i>Parachanna obscura</i>	max. 100 cm
16	Sepak, Tenggiri, Ikan Putih	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 15 cm
17	Buka	<i>Amia naja</i>	max. 15 cm
18	Tembakung, Baka	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 30 cm
19	Semba	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 100 cm
20	Lecoko, Wras, Gial	<i>Agulilla marmorata</i>	max. 100 cm
21	Lulu-lulu	<i>Betta pinnata</i>	max. 47 cm
22	Lembak, Lemak	<i>Danio rerio</i>	max. 20 cm
23	Lutung, Ikan	<i>Melanichthys sp.</i>	max. 100 cm
24	Ikan, Ikan, Ikan	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 20 cm
25	Semba Jawa	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 60 cm
26	Goboi	<i>Channa striata</i>	max. 180 cm
27	Semba, Ikan, Ikan	<i>Channa striata</i>	max. 20 cm
28	Semba Merah, Ikan, Ikan	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 40 cm
29	Jambak, Ikan, Ikan	<i>Pangasius pangasius</i>	max. 90 cm
30	Paku	<i>Pangasius pangasius</i>	max. 60 cm
31	Banyu Jawa	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 75 cm
32	Ikan	<i>Betta pinnata</i>	max. 20 cm
33	Senggol	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 20 cm
34	Banyu	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 65 cm
35	Ikan Ikan	<i>Amia naja</i>	max. 12,5 cm
36	Jalur-jalur di bawah	<i>Demimachus sp.</i>	max. 10 cm
37	Bawal, Ikan	<i>Dalmanella sp.</i>	max. 8,5 cm
38	Selai	<i>Herichthys fasciata</i>	max. 11 cm
39	Ikan Ikan	<i>Betta pinnata</i>	max. 20 cm

<http://www.fishbase.org> dan www.wikipedia.org - ©2018
 Disusun oleh: Sigit Susilo, Sumber : www.fishbase.de dan www.wikipedia.org - ©2018



Gambar 133. Masalah dan solusi generik untuk mewujudkan perikanan budidaya berkelanjutan Indonesia di masa depan (Phillips, *et al.*, 2016)

Arah pengembangan perikanan budidaya berkelanjutan 2020 – 2024 juga didominasi oleh ide-ide terkait dengan penyempurnaan manajemen dan mitigasi pengaruh negatif dari aktivitas budidaya ikan terhadap lingkungan baik di laut, payau maupun tawar. Usaha penyempurnaan ini dapat difokuskan pada kegiatan pengembangan Decision Support System (DSS) kelayakan lahan dan daya dukung untuk setiap aktivitas budidaya ikan di berbagai sistem dan memfasilitasi konektivitas *stake holder* terkait (pembudidaya, pengepul, pemerintah daerah dan provinsi). Fungsi DSS ini mencakup sistem penataan zonasi budidaya, perizinan usaha pembudidayaan ikan, monitoring dan evaluasi serta pembangunan *early warning system* sebagai alat mitigasi terhadap penyebaran penyakit dan parasit, cuaca, penurunan kualitas air, limbah domestik dan industri, dan kontinuitas ketersediaan pakan dan pasar.

Perbaikan infrastruktur terkait perikanan budidaya (irigasi, jalan, listrik, jetty/pelabuhan, kapal transport, pengolahan pakan dan produk olahan), ketersediaan benih dan induk, penanggulangan penyakit dan parasit, pengurangan ketergantungan terhadap *fish meal* impor dan pengembangan pakan berbahan baku lokal dan peningkatan produktivitas pembudidaya skala kecil juga harus terus dilakukan secara konsisten sebagaimana tahun-tahun sebelumnya. Konsep yang hampir serupa juga disarankan oleh Phillips *et al.*, (2016) yang memprioritaskan pembangunan perikanan budidaya berkelanjutan pada akselerasi inovasi produk budidaya, reformasi tata ruang budidaya, investasi dan perbaikan tata logistik dan niaga, efisiensi sistem produksi, pencegahan dan mitigasi efek, serta peningkatan kepatuhan pada regulasi di bidang perikanan budidaya.

6.4 Sumber Daya Perikanan Budidaya Indonesia

Berdasarkan Keanekaragaman Jenis dan Genetik

Total luas perairan Indonesia termasuk perairan darat mencapai 6.4 juta km². Luas perairan antar pulau mencapai 3.1 juta km² dan luas perairan umum daratan yang mencapai 138.5 ribu km² (BIG, 2018). Total luasan wilayah perairan Indonesia tersebut menjadi habitat setidaknya sekitar 4,876 spesies ikan laut dan darat (FishBase, 2019).

Jenis Perairan	Luas	Jumlah species			
		Total	Endemic	Budidaya	
				Existing	Potensial
Laut	3.1 juta km ²	3611	30	41	64
Payau	-		2		
Air Tawar	0.139 km ²	1243	101		

Table 7.
Luasan wilayah perairan dan jenis sumberdaya ikan di Indonesia (FishBase, 2019)

Dari aspek variasi genetik untuk jenis ikan budidaya yang telah lama dibudidayakan di Indonesia, beberapa studi menunjukkan bahwa terjadi penurunan variasi genetik pada banyak spesies, baik di sistem budidaya laut, payau maupun tawar yang diakibatkan oleh penggunaan indukan berulang, terjadinya *inbreeding*, dan secara umum terbatasnya program induk dan benih unggul (Sembiring *et al.*, 2017). Pengaruh nyata dari penurunan variasi genetik ikan-ikan budidaya ini mengakibatkan pertumbuhan ikan yang lambat, rentan terhadap penyakit, kematangan gonad prematur, hingga tingkat kematian yang tinggi. Contoh yang nyata dari penurunan variasi genetik ikan budidaya misalnya terjadi pada ikan bandeng (Sembiring *et al.*, 2017), kerapu (Sembiring *et al.*, 2015), nila (Arifin *et al.*, 2007). Beberapa jenis ikan budidaya juga secara alami memiliki pertumbuhan sangat lambat seperti ikan gurame menjadi salah satu tantangan budidaya yang sampai saat ini masih belum dapat diselesaikan dengan baik (Arifin *et al.*, 2017).

Gambar 134.
Luas wilayah
perairan laut dan
perairan umum
darat di Indonesia
(Diolah dari: KKP,
BAPPENAS,
Kemenko
Kemaritiman,
KIARA, 2018)



Identifikasi, domestikasi dan penggunaan SDI budidaya baru serta program pemuliaan jenis-jenis ikan budidaya yang mengalami penurunan kualitas produksi dan genetik menjadi salah satu prasyarat dalam menjaga keberlanjutan perikanan budidaya di Indonesia. Usaha-usaha pemuliaan pada umumnya dilakukan melalui *cross-breeding* dan *selective breeding*. *Cross-breeding* atau hibridisasi adalah perkawinan antara dua spesies ikan yang berkerabat dekat (interspesifik) atau dengan spesies yang sama (intraspesifik) namun memiliki sifat dan ciri yang berbeda dengan tujuan dapat menghasilkan keturunan yang memiliki sifat-sifat unggul dari keduanya (*hybrid*). Sedangkan *selective breeding* adalah seleksi indukan terbaik yang telah dikembangkan dengan tujuan indukan hasil seleksi yang memiliki sifat dan ciri unggul dapat diturunkan pada keturunannya.

Spesies Hibrida

Penggunaan spesies ikan budidaya hibrid di Indonesia telah dilakukan untuk menjawab tantangan penurunan produksi, penyebaran penyakit serta pemanfaatan spesies ikan di sistem budidaya yang berbeda. Setidaknya terdapat 35 jenis spesies ikan budidaya hibrida di dunia (Table 8.) di mana mayoritas (20 spesies) merupakan spesies ikan air tawar (Bartley *et al.*, 2000).

Trait atau sifat unggul dari ikan ikan hibrid telah banyak didokumentasikan, misalnya persilangan antara *African catfish* (*Clarias gariepinus*) dan *Thailand catfish* (*C. macrocephalus*) memiliki pertumbuhan yang sebaik *African catfish* dengan karakteristik daging *Thailand catfish*. Atau, persilangan antara *white barramundi* dengan *striped barramundi* yang menghasilkan hibrid dengan kemampuan osmoregulation yang lebih baik, toleransi suhu yang lebih lebar, toleransi stres lingkungan dan penyakit, tingkat kelangsungan hidup yang tinggi serta memiliki kemampuan untuk menggunakan pakan dengan sumber protein dari kedelai (Bartley *et al.*, 2000).

Di Indonesia, ikan hibrida yang digunakan di budidaya tercatat antara lain sebagai berikut (Tabel 8).

Sistem Budidaya	Persilangan	Nama Hybrid
Air Laut	Kerapu Macan (<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>) betina x kerapu Kertang (<i>Epinephelus lanceolatus</i>)	Kerapu Cantang (<i>Epinephelus</i> sp.)
	Kerapu Macan betina x kerapu Batik (<i>Epinephelus microdon</i>) jantan	Kerapu Cantik
	Kerapu Tikus (<i>Cromileptes altivelis</i>) betina x Kerapu Kertang	Kerapu Kustang
	<i>Epinephelus fuscoguttatus</i> x <i>Epinephelus corallicola</i>	Kerapu Cansir
	<i>Epinephelus fuscoguttatus</i> dan <i>Epinephelus polyphemadion</i>	
Air Tawar	Ikan Patin Siam (<i>Pangasianodon Hypophthalmus</i>) Betina x Ikan Patin Jambal (<i>Pangasius Djambal</i>) Jantan	Ikan Patin Pasupati
	Ikan Patin Siam (<i>Pangasianodon Hypophthalmus</i>) Betina x Ikan Patin Nasutus (<i>Pangasius Nasutus</i>) Jantan	Ikan Patin Pasupati II
	Huna Biru (<i>Cherax Albertisii</i>) x Huna Capitmerah (<i>Cherax quadricarinatus</i>)	
	Hibridisasi Intraspesifik Dua Populasi Ikan Gurami Galunggung (<i>Osphronemus goramy</i>)	Ikan Gurami
	Hibrida Ikan Mas Rajadanu x Majalaya x Subang x Kuningan	
	<i>Oreochromis Aureus</i> x <i>O. Niloticus</i>	Ikan Nila Srikandi
	<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>O. mossambicus</i>	Ikan Nila Merah
	Hibridisasi intraspesifik Ikan Tengadak Betina Jawa x Jantan Kalimantan	Ikan Tengadak

Tabel 8.
Beberapa jenis ikan hibrida yang telah dikembangkan di Indonesia



Gambar 135.

Performa ikan nila Salin (Srikandi) yang cepat tumbuh (3 bulan panen) dan tahan salinitas sampai 20 ppt (Photo Credit: BPPT)

Meskipun usaha pemuliaan ikan melalui *cross-breeding* dan *selective breeding* menunjukkan hasil yang sangat positif, beberapa permasalahan terkait proses hibridasi dan penggunaan spesies ikan hibrida budidaya justru berpotensi memiliki pengaruh negatif dan perlu diwaspadai. *Accidental* Hibridisasi yang terjadi pada proses *breeding* tidak terkontrol dan berpotensi untuk menghasilkan *strain*/turunan yang memiliki sifat-sifat yang lebih buruk dibandingkan dengan induknya. Selain itu, spesies hibrida ditengarai menghasilkan turunan ikan-ikan yang masih memiliki kemampuan bereproduksi. Kemampuan reproduksi (fertil) ikan spesies hibrida ini, jika lolos dari sistem budidaya berpotensi merusak keanekaragaman populasi dan genetik populasi alamnya apabila melakukan reproduksi dengan ikan liar sejenis. Salah satu resikonya adalah penurunan sifat sifat resesif akibat persilangan yang sangat mirip dengan proses *accidental* hibridisasi di proses penelitian yang terkontrol. Efek negatif lainnya adalah riset dan penggunaan ikan hasil hibrida yang saat ini masih belum dapat diawasi dengan baik dan cenderung bersifat oportunistik yang berpotensi menyebarkan ikan hibrida di sentra sentra budidaya tanpa pengawasan yang baik termasuk di kawasan-kawasan konservasi laut yang memiliki SDI yang dilindungi.

Meskipun ikan hibrida adalah spesies yang telah dimodifikasi secara genetik, namun pengaturannya tidak dapat dikategorikan dalam kelas *genetically modified organism* (GMO) yang disepakati oleh organisasi-organisasi internasional (UNEP, 1994, Bartley 2000). Oleh karena itu, pengawasan dalam proses pembuatan spesies hibrida untuk budidaya, pengawasan dan evaluasi penyebarannya menjadi hal yang mutlak untuk menjamin keberlangsungan perikanan budidaya di Indonesia.



Gambar 136
Kerapu Hibrid
Cantrang and Kerapu
Cantik (Photo credit:
BBAP Situbondo)

Alien Spesies dan Invasive Alien Spesies

Alien fish species atau species ikan asing adalah spesies ikan yang hidup atau berada di luar habitat alaminya, sedangkan *invasive alien fish species* adalah spesies ikan asing invasif yang tumbuh dan berkembang secara pesat di luar habitat alaminya karena tidak memiliki musuh/predator alami. Pemerintah Indonesia menyadari tentang resiko masuknya ikan asing dan berkembangnya spesies asing invasif di Indonesia sehingga KKP mengeluarkan peraturan PERMEN KP Nomor 41/PER/2014 tentang Larangan Pemasukan Jenis Ikan Berbahaya Dari Luar Negeri ke Dalam Wilayah Negara Republik Indonesia. Dalam peraturan tersebut, terdapat 156 jenis ikan akuatik berbahaya. Namun demikian, saat ini kurang lebih 78 spesies ikan asing diduga telah masuk ke Indonesia melalui berbagai jalur perdagangan (Haryono *et al.*, 2016).

Data dari *ReefBase* terkini (2019) menyebutkan bahwa terdapat 36 spesies asing telah dibudidayakan di Indonesia. Sementara catatan database *Alien Invasive Spesies* (AIS) Indonesia yang dikembangkan oleh KKP



Gambar 137.
Beberapa jenis ikan
budidaya di Indonesia
yang berstatus
*Alien Invasive
Species*, searah
jarum jam: Ikan
Nila (*Oreochromis
niloticus*), Ikan Mujair
(*O. Mossambicus*),
Ikan Red Devil, Ikan
Gabus (*Channa
striata*) (Photo Credit:
AIS Indonesia, 2019;
Widiyanto, 2016).

mencatat setidaknya 56 spesies asing telah dibudidayakan di Indonesia, 13 spesies terindikasi berpotensi sebagai *spesies* asing invasif, dan 19 spesies berstatus sebagai *spesies* asing invasif. Banyak dari kalangan umum yang bahkan tidak menyadari bahwa beberapa jenis ikan yang sangat umum ditemukan sekarang seperti ikan Mujair, Nila, Lele Dumbo, Kakap Putih, Mas Perak dan Gabus (*Striped Snakehead*) merupakan ikan asing yang invasinya sudah banyak masuk ke perairan umum darat di hampir seluruh wilayah Indonesia. Beberapa kasus invasi spesies asing yang mengkhawatirkan terjadi seperti dominasi ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) di ekosistem Waduk Selorejo Jawa Timur, merebaknya populasi ikan *Red Devil* di waduk Sermo Yogyakarta, waduk Cirata Jawa Barat dan waduk kedung ombo di Jawa Tengah menekan populasi ikan lokal (Himawan, 2018). Beberapa laporan juga menyebutkan tentang mulai ditemukannya populasi udang Vaname di perairan pantai yang berdekatan dengan lokasi tambak-tambak Vaname di Jawa dan Sumatra walaupun masih memerlukan verifikasi secara ilmiah.

Pengawasan yang ketat terhadap berbagai jalur perdagangan impor resmi ikan hidup perlu terus diupayakan sebagai salah satu upaya implementasi Permen KP No 41 tahun 2014 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.94/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2016 Tentang Jenis Invasif Spesies. Selain itu, kerjasama para pihak dan peningkatan kesadaran masyarakat untuk berpartisipasi secara langsung dalam mengawasi peredaran ikan asing sebelum jenis jenis ikan-ikan berbahaya ini dapat mengambil alih ekosistem perairan dan memusnahkan biota *existing* di Indonesia.

Secara khusus, Bartley *et al.*, (2000) menyarankan 4 prinsip dalam manajemen dan pengawasan spesies-spesies hibrida untuk menjamin keberlangsungan perikanan budidaya yaitu:

1. Standardisasi dan konsistensi pelaporan pembuatan dan produksi ikan ikan hibrida termasuk data indukan dan turunannya.
2. Pemilihan spesies hibrida sebagai species budidaya baik oleh pemerintah maupun pembudidaya harus merupakan pilihan jangka panjang.
3. Informasi detail terkait ikan hibrida harus tersedia dan dapat diakses sebagai informasi umum termasuk jumlah stock turunan dan indukan, persyaratan fasilitas dan kondisi lingkungan untuk budidaya hibrida serta status dan evaluasi fertilitas di lingkungan sistem budidayanya.
4. Sistem nomenklatur spesies hibrida sebaiknya menggunakan nama yang paling tidak memberikan informasi secara tidak langsung tentang spesies yang digunakan.

Point 4 dari prinsip di atas telah dilakukan secara konsisten di Indonesia oleh lembaga-lembaga riset dimana nomenklatur hibrida merepresentasikan dengan jelas asal indukan dari spesies tersebut (Tabel 8).

6.5 Teknologi Akuakultur Berkelanjutan

Hatchery menjadi fondasi dalam membangun perikanan budidaya yang berkelanjutan untuk mensuplai benih ikan yang berkualitas, baik dari sisi produksi maupun kesehatan secara kontinyu dan dalam jumlah yang besar. Secara umum, *hatchery* terbagi atas dua yaitu *hatchery* skala besar yang dimiliki oleh pihak swasta dan juga pemerintah serta *hatchery* skala kecil yang sering kali juga disebut Hatchery Skala Rumah Tangga (HSRT).

Hatchery skala besar dikembangkan secara lengkap mengikuti tahapan-tahapan pemilihan lokasi yang sesuai, memiliki *hatchery design*, peralatan, dan fasilitas yang lengkap, adanya pengelolaan air/*water treatment system*, melakukan hampir seluruh proses produksi benih mulai dari pemeliharaan induk sampai dengan panen benih dan pemasaran, memiliki sistem kultur makanan hidup alami, adanya sistem panen yang terjadwal, memiliki *biosecurity* yang ketat untuk mencegah penularan penyakit, memiliki sistem transportasi penjualan benih ke pihak yang membutuhkan serta memiliki sistem manajemen pemasaran.



Gambar 136.
Hatchery skala besar yang dimiliki BBRBLPP Gondol, inset: sistem *water treatment hatchery* skala besar (Photo credit: BBRBLPP Gondol)





Gambar 139.
Desain dan
penggunaan
teknologi *water
treatment* dan
aerasi minimal
dalam HRST
(Photo Credit:
BBRPBLPP
Gondol)

Hatchery skala kecil merupakan bentuk segmentasi sistem produksi benih yang memanfaatkan peluang ekonomi untuk mensuplai benih ikan dan seringkali bekerjasama dengan *hatchery* skala besar. Segmentasi ekonomi HSRT secara umum ditujukan untuk mensuplai benih nauplii dan benih tokolan. Teknologi yang digunakan dalam HSRT sangat minimal namun tetap mengutamakan kualitas benih dan tokolan yang diproduksi melalui penggunaan sistem pengolahan air lengkap untuk induk dan benih, kolam/bak penetasan benih dan pemeliharaan induk serta pengelolaan limbah. HSRT pada umumnya mengandalkan suplai pakan hidup alami dari *hatchery* skala besar dikarenakan kompleksitas dan teknologi yang dibutuhkan untuk menumbuhkan pakan alami.

Dari aspek perkembangan teknologi, beberapa teknologi baru atau hasil perbaikan telah diterapkan dalam sistem *hatchery* baik skala besar maupun rumah tangga. Salah satunya adalah aplikasi sistem Recirculation Aquaculture System (RAS) menggantikan sistem aerasi konvensional. Dalam sistem *hachtery* ikan air tawar, penggunaan RAS diklaim dapat meningkatkan padat tebar pendederan ikan gurame hingga 20 – 30 ekor per liter dibandingkan dengan sistem konvensional yang hanya 1 ekor/5 liter, *survival rate* 95 persen berbanding 60 persen, keseragaman ukuran 90 persen berbanding 80 persen, lama pendederan 30 hari berbanding 50 hari dengan tingkat produktivitas mencapai 140 persen (Trubusnews,2019).



Gambar 140. Penggunaan sistem RAS dalam pendederan benih udang Vaname (Photo credit: Adiyana, 2019)

Penggunaan teknologi RAS juga ramah lingkungan terkait dengan penggunaan air minimal walaupun terdapat *trade-off* terkait beban listrik dan pembaharuan fasilitas *hatchery*. Perbaikan teknologi RAS terbaru yang menggunakan teknologi *microbubble* beberapa waktu lalu telah dilansir oleh KKP melalui Pusat Riset Perikanan (PURISKAN). Teknologi yang dikembangkan oleh Peneliti PURISKAN, menggunakan metode *microbubble* di mana polutan tersuspensi dan terlarut dalam kolom air terperangkap oleh gelembung udara mikro melalui proses *foam fractionation*. Teknologi secara efektif dapat mengurangi konsentrasi NH_3 dan Total Anorganic Nitrogen serta meningkatkan konsentrasi oksigen pada media pendederan udang vaname.

Teknologi penyediaan pakan alami yang efisien dan efektif di sistem *hatchery* baik untuk spesies ikan budidaya laut, payau dan tawar saat ini masih mengandalkan pada ketersediaan *Artemia* dan *Rotifer*. Penyediaan *Artemia* dan *Rotifer* sebagai pakan alami kemudian mengalami perkembangan melalui pengkayaan/*enrichment* kandungan nutrisinya. Proses pengkayaan (bioenkapsulasi) pada *Rotifer* sudah umum digunakan dalam *hatchery* benih ikan budidaya laut seperti kerapu. Melalui teknologi ini larva ikan mendapatkan suplai nutrisi yang diperlukan seperti n-3 HUFA (*Highly Unsaturated Fatty Acid*) EPA (*Eicosapentaenoic acid*), DHA (*Docosahexaenoic acid*), maupun multivitamin.

Gambar 141. *Artemia*, *Rotifer* sebagai pakan alami serta *copepod* (Photo credit: shutterstock) dan *microdietet* (Photo credit: Kolkowski, 2013) yang telah digunakan sebagai pakan alami alternatif (searah jarum jam) di sistem *hatchery* ikan budidaya



Kelemahan *Artemia* dan *Rotifer* sebagai bahan pakan alami di *hatchery* adalah rendahnya kandungan nutrisi dan ukurannya yang relatif besar dibandingkan dengan bukaan mulut larva ikan khususnya untuk ikan laut (Groupier) (Iba & Albasri, 2009). Untuk *Artemia*, selain terjadi penurunan kandungan nutrisi setelah menetas, ketersediannya juga masih mengandalkan bahan baku impor. Untuk itu, alternatif pakan alami dalam *hatchery* sudah mulai dijajaki oleh beberapa pembenih yaitu penggunaan kopepoda sebagai pakan alami untuk benih. Kopepoda sebagai pakan alami memiliki keuntungan dari sisi kandungan nutrisinya yang tinggi dibandingkan oleh *Artemia* dan *Rotifer*, ukuran tubuh yang beragam dari nauplii ke dewasa, memiliki pergerakan yang merangsang predasi visual benih ikan dan memiliki kandungan PUFA (*polyunsaturated fatty acids*) yang tinggi (Pinto *et al.*, 2001). Namun demikian, produksi kopepoda sulit untuk dijaga secara kontinyu khususnya dengan sistem pemeliharaan dengan densitas yang tinggi.

Teknologi pakan yang juga telah dikembangkan cukup lama untuk menggantikan pakan alami adalah teknologi pakan benih *microdietet*. *Microdietet* memiliki beberapa kelemahan yaitu kecenderungan tenggelam ke dasar, menggumpal, dan memicu pertumbuhan bakteri dan menurunkan kualitas lain serta berharga mahal (Kolkovski, 2013). Namun demikian, *microdietet* dengan kandungan nutrisi dan ukuran yang dapat diatur sesuai kebutuhan, menjadi salah satu alternatif penting dalam penyediaan pakan untuk benih ikan di *hatchery*, paling tidak sebagai pakan substitusi.

Teknologi terbaru lain dalam sistem *hatchery* seperti otomatisasi pakan, kualitas air, panen, dan juga komputerisasi sistem manajemen *hatchery* termasuk *real time* data access dan *reporting* untuk kualitas air juga telah dikembangkan oleh *hatchery* skala besar. Namun, pada dasarnya hampir semua jenis teknologi merupakan pembaharuan/rekayasa dan tidak masuk dalam kategori terobosan dalam sistem *hatchery*.

Teknologi Pembesaran (*Grow-out*)

Tahapan pembesaran ikan merupakan segmen dominan di sistem produksi perikanan budidaya dan ditujukan untuk memelihara benih/juvenil ikan sampai mencapai ukuran siap panen dan melibatkan mayoritas pembudidaya ikan. Segmen pembesaran ikan dapat dilakukan pada sistem budidaya tradisional/konvensional, semi intensif, super intensif dan budidaya ikan organik. Tahapan pembesaran di tiap sistem budidaya tersebut berbeda-beda terkait dengan luasan lahan/media budidaya, padat tebar benih, jenis dan cara pemberian pakan, manajemen kualitas air, penanganan penyakit dan serta pemasaran.

Karakteristik	Tradisional	Semi Intensif	Super Intensif
Luasan Lahan	Luas, tidak teratur	Sedang, persegi	Kecil, persegi, bulat
Konstruksi	Sederhana, alamiah	Tambahan material dan peralatan	Lengkap dan terkontrol
Sarana budidaya	Tidak tersedia	Sederhana	Lengkap/otomatisasi
Padat tebar	Rendah	Sedang	Tinggi
Pakan	Alami/rucah	Kombinasi Alami dan komersial	Komersial
Aerasi	Alami	Tersedia, minimal	Lengkap dengan variasi
IPAL	Tidak tersedia	Sederhana, Kolam endapan	Kolam endapan, oksigenasi, sterilisasi, bahan aktif
Sumber dan kualitas air	Alami/pasif	Terkontrol/pasif	Terkontrol/aktif
Keamanan biologi	Tidak ada	Ada	Lengkap
Penanganan penyakit	Tidak dilakukan	Kontrol minimal	Kontrol lengkap
Panen	Sesuai musim budidaya	Sepanjang tahun	Sepanjang tahun

Tabel 9.
Karakteristik teknologi pembesaran di sistem budidaya dengan skala yang berbeda

Pada sistem pembesaran semi dan super intensif, penurunan kualitas air secara drastis akibat tingginya limbah nutrisi pakan dan feses menjadi permasalahan utama yang sering kali memicu penurunan kuantitas dan kualitas produksi termasuk munculnya penyakit-penyakit ikan budidaya yang berasosiasi dengan lingkungan media budidaya yang buruk. Selain itu, buangan limbah dari aktivitas budidaya yang tidak terkontrol dan dalam jumlah banyak, akan menurunkan kualitas lingkungan sekitar. Pembuangan limbah tambak budidaya udang vaname di Bali Utara adalah salah satu studi kasus di mana pembuangan limbah menahun menyebabkan penurunan kualitas air (Nasukha *et al.*, 2019, Albasri *et al.*, 2019), peningkatan serangan penyakit di sistem budidaya (Mahardika *et al.*, 2018) dan menurunnya keragaman makrozoobenthos perairan laut yang menjadi zona buangan limbah (Albasri *et al.*, 2019).

Pengembangan teknologi untuk mengurangi dampak limbah budidaya yang menjadi perhatian utama saat ini adalah penggunaan teknologi Bioflok. Teknologi bioflok adalah pemanfaatan mikroorganisme dalam media budidaya yang ditujukan (Emerenciano *et al.*, 2013) untuk:

1. Menjaga kualitas air di lingkungan budidaya melalui absorpsi nitrogen yang kemudian memproduksi protein *in situ* (nutrien),
2. Pengambilan nutrisi bioflok tersebut oleh spesies ikan budidaya akan menekan biaya pakan dan menurunkan rasio konversi pakan/*feed conversion ratio* (RKP/FCR),
3. Minimalisasi penggunaan air dikarenakan teknologi bioflok ditujukan dalam sistem budidaya tertutup (*closed system*) sehingga mencegah pembuangan limbah budidaya berlebihan di lingkungan sekitar.

Selain itu, teknologi bioflok memiliki manfaat lain terkait dengan peningkatan respon imun non-spesifik, resistansi terhadap penyakit, dan peningkatan kelangsungan hidup ikan budidaya (Balcázar *et al.*, 2006). Manfaat besar mikroorganisme bioflok ini seperti efisiensi pakan sampai 30 persen pada udang dan 20 persen serta peningkatan retensi protein pakan antara 7 – 13 persen dengan proyeksi panen 155 ton/ha/siklus pada budidaya Tilapia kemudian mendorong penerapannya dalam berbagai sistem budidaya dan spesies yang berbeda (Emerenciano *et al.*, 2013). Awal pengembangan bioflok atau dikenal di dunia budidaya sebagai BFT (Bioflok Technology) (Emerenciano *et al.*, 2013) dimulai pada awal 1970 oleh Ifremer-COP (French Research Institute for Exploitation of the Sea, Oceanic Center of Pacific) yang diaplikasikan pada beberapa jenis penaeid seperti *Penaeus monodon*, *Fenneropenaeus merguensis*, *Penaeus vannamei* and *P. stylirostris*. Periode awal 1980 dan 1990, Israel dan USA juga mengembangkan teknologi BFT untuk *Tilapia* dan Penaeid yang ditujukan untuk budidaya ikan pada lahan lahan terbatas dan minim sumber air. Pengembangan teknologi bioflok telah dilakukan di berbagai negara di region Amerika Tengah dan Selatan, USA, Asia, Afrika dan Asia Tenggara termasuk di Indonesia. Indonesia saat ini telah mengembangkan BFT sebagai salah satu solusi

untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pakan, pemanfaatan lahan kritis dan terbatas serta meminimalisir dampak lingkungan akibat aktivitas budidaya.

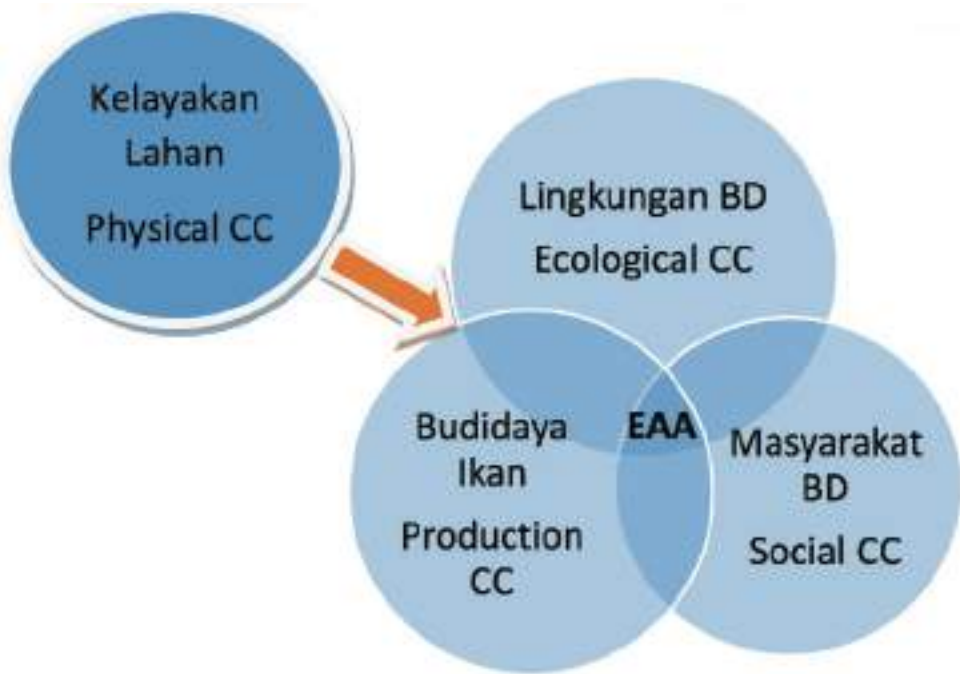
Ketersediaan pakan komersial yang berkualitas, murah, berbasis bahan baku lokal dan dapat dibuat mandiri oleh pembudidaya ikan serta dapat bersaing harga (lebih murah Rp. 2000/kg) dengan pakan komersial impor dan industri (Sunarno, 2019, *pers. comm*) menjadi salah satu kebutuhan yang teridentifikasi oleh BAPPENAS pada tahun 2014 dan kemudian dijadikan sebagai salah satu isu nasional di KKP selama kurun waktu 2015 – 2019. Hal ini karena pembiayaan pakan dalam sistem budidaya dapat mencapai 70 persen dari total ongkos produksi. Usaha pembuatan pakan mandiri berbahan baku lokal yang menggunakan hijauan, tepung ikan lokal, bungkil kedele, bungkil sawit, tepung maggot (larva lalat *Black Soldier*) untuk pembesaran ikan air tawar telah banyak dilakukan dan menawarkan alternatif formulasi pakan minimal 20 persen lebih murah dari pakan komersial industri dan tingkat FCR berkisar 1.0 – 1.6 (Sunarno, 2019). Di budidaya laut dan payau, pembuatan pakan lokal berbasis bahan baku lokal terutama protein nabati masih terkendala karena kebutuhan protein yang tinggi pada ikan-ikan laut jenis karnivora, rendahnya kandungan nutrisi protein nabati, dan kandungan faktor anti nutrisi pada bahan pakan nabati seperti tannin. Dengan peluang ekonomi dimana kebutuhan pakan ikan Indonesia tahun 2019 dapat mencapai 14 juta ton dan berpeluang meningkat di masa depan (Mongabay, 2019) menjadikan industri pakan mandiri di tingkat masyarakat lokal berpotensi menjadi sumber mata pencaharian baru.

6.6 Manajemen Lingkungan Perikanan Budidaya

Kelayakan lahan dan daya dukung (*Carrying capacity*, CC) sering dipandang sebagai dua konsep yang berbeda yang aplikasinya dapat dilakukan secara terpisah. Pandangan ini menyebabkan riset dan kebijakan kelayakan lahan seringkali berhenti pada klasifikasi lahan dan kemudian CC menjadi bagian riset atau kebijakan yang terpisah. Pandangan umum yang berkembang di Indonesia baik dari aspek penelitian dan kebijakan bahwa kelayakan lahan diartikan sebagai kemampuan *inherent* suatu area atau lokasi berdasarkan parameter-parameter lingkungan (fisika, biologi, dan kimia serta kondisi geografis) untuk mendukung suatu sistem operasi budidaya.

Secara saintifik, pandangan ini dapat dibenarkan. Namun dari konsep kelayakan lahan dan daya dukung, dimensi definisi di atas hanya melingkupi kemampuan/kapabilitas dari lingkungan dan tidak mencakup definisi utuh kelayakan lahan. Konsep integratif dari kelayakan lahan budidaya mencakup semua parameter lingkungan termasuk sosial ekonomi, penggunaan sumber daya, ketersediaan infrastruktur dan pemasaran untuk mendukung operasi suatu sistem budidaya atau *suitability* (Cross & Kingzet, 1992) dan merupakan salah satu bagian yang tidak terpisahkan konsep umum daya dukung lahan.

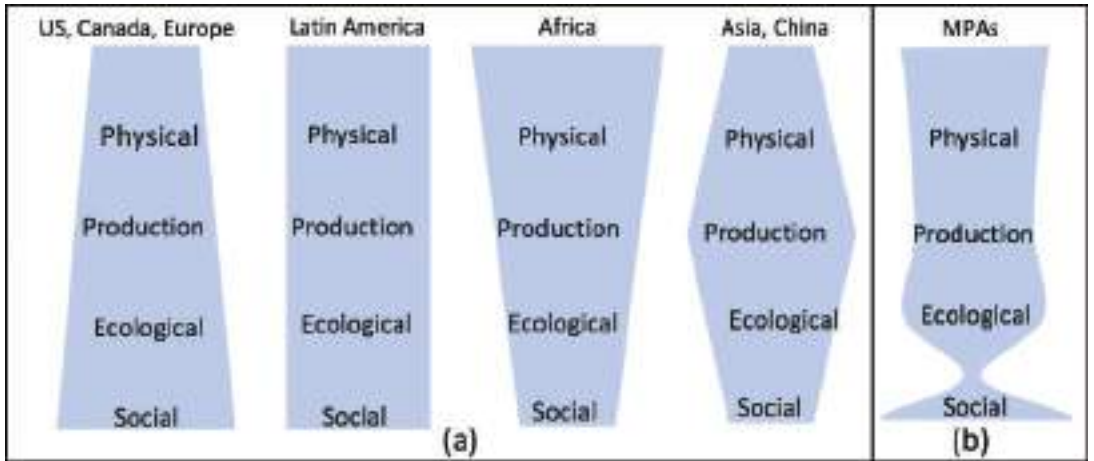
Gambar 142.
Konsep
integrasi
kelayakan
lahan dan
daya dukung
budidaya
ikan berbasis
ekosistem (Ross
et al., 2013).



Daya dukung di budidaya ikan didefinisikan sebagai batasan tingkat maksimum dari operasi suatu sistem budidaya ikan yang ditentukan berdasarkan batasan kondisi lingkungan dan sosial-ekonomi yang tidak menyebabkan perubahan, yang merugikan, bagi lingkungan sekitarnya and fungsi dan struktur sosial yang terkait (Ross *et al.*, 2013). Konsep umum daya dukung ini secara harfiah melingkupi semua aspek kelayakan lahan dan daya dukung dan diterjemahkan dalam bentuk 4 jenis CC yaitu daya dukung fisik, daya dukung produksi, daya dukung ekologi dan daya dukung sosial. Istilah-istilah di atas memiliki definisi sendiri-sendiri, namun harus digunakan secara bersamaan yang irisannya merupakan terjemahan dari pendekatan budidaya ikan berbasis ekosistem (EAA) untuk mewujudkan budidaya perikanan yang berkelanjutan.

Pada kenyataannya, pembangunan perikanan budidaya berkelanjutan di Indonesia masih berorientasi pada peningkatan produksi dan nilai seperti yang tercantum dalam visi dan misi yang tercantum dalam rencana strategies KKP. Konsep EAA terintegrasi ini sendiri sudah diaplikasikan di banyak negara terutama di negara negara maju dengan penekanan yang berbeda pada setiap aspek CC untuk mewujudkan keberlanjutan jangka panjang dari sistem budidaya ikan (Gambar 143).

Meskipun orientasi pembangunan budidaya ikan berkelanjutan di Indonesia masih berfokus pada produksi, namun secara perlahan aspek-aspek CC sudah mulai diintegrasikan pada berbagai produk hukum dan teknis melalui program program CBIB, CPIB, CPPIB. Pengembangan



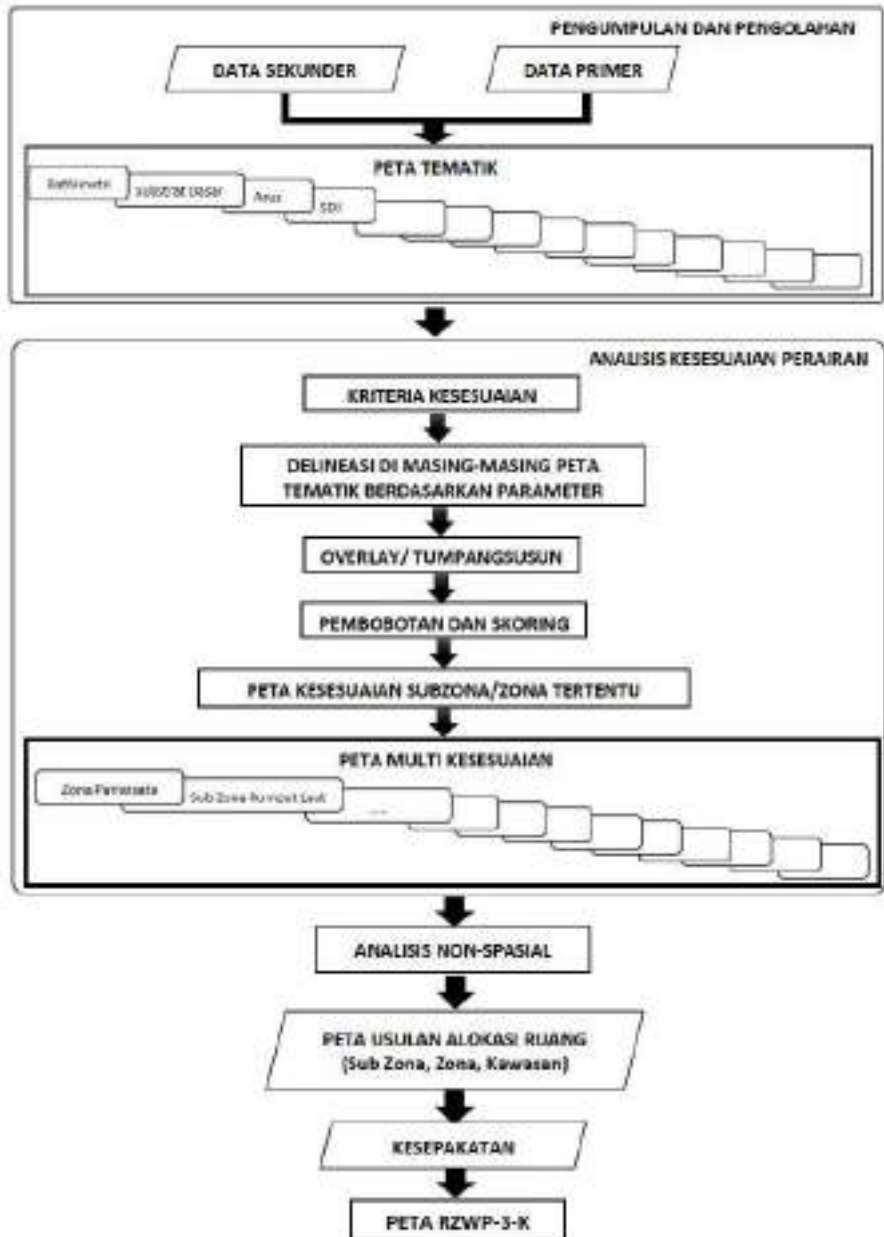
decision support system (DSS) untuk kelayakan lahan budidaya dan daya dukung juga telah digalakkan dengan langkah awal kewajiban pemerintah daerah untuk penetapan zona-zona budidaya daratan dan laut di kawasannya melalui RPKP (Rencana Penataan Ruang Kawasan Perdesaan), RPKK (Rencana Penataan Ruang Kawasan Perkotaan) dan RZWP3K (Rencana Zonasi dan Wilayah Pesisir dan Pulau Pulau Kecil). Usaha ini perlu mendapat apresiasi sebagai salah satu aspek perencanaan pembangunan budidaya berbasis EAA.

Gambar 143. Penekanan/ prioritiasasi aspek aspek CC di beberapa regional di dunia (Ross et al., 2013) dengan tambahan pada kawasan *multi-use marine protected areas* (MPAs) (Photo credit: Albasri, 2018)



Gambar 144. Ilustrasi RZWP3K yang mencakup zonasi perikanan budidaya (Photo credit: Subandono, 2016, Ditjen PRL, 2018)

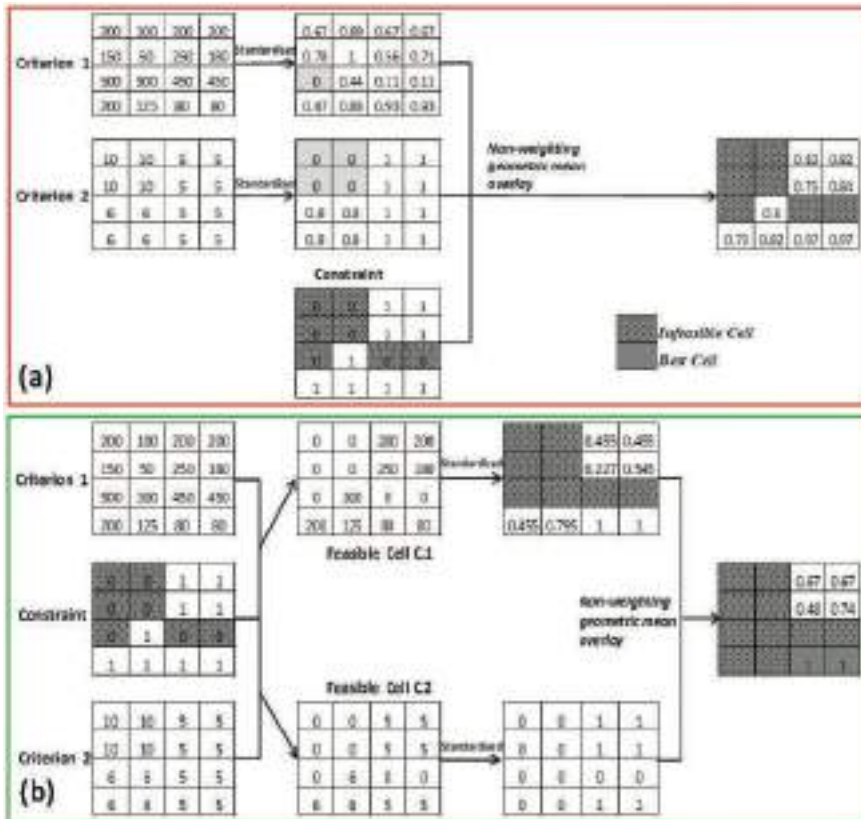
Gambar 145. Alur analisis data dalam penentuan zonasi-zonasi di wilayah pesisir dan pulau pulau kecil termasuk perikanan budidaya (Photo credit: Ditjen PRL, 2018)



Secara khusus, bagian ini akan membahas dokumen teknis terkait analisis kelayakan lahan budidaya yang dituangkan dalam dokumen teknis Tata Cara Penyusunan Peta Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau Pulau Kecil yang disusun Direktorat Perencanaan Ruang, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Dokumen tersebut secara terperinci menjelaskan tata cara penyusunan zonasi-zonasi yang ada di perairan termasuk untuk zonasi perikanan budidaya yang menggunakan alat analisis data berdasarkan Sistem Informasi Geografis dan parameter-parameter berbeda.

Selintas, diagram alur analisis spasial tersebut di atas mencoba menyederhanakan pengolahan data dan penentuan kelayakan lahan untuk zonasi pesisir dan pulau pulau kecil yang berdasar pada beberapa tahapan generik: pembuatan peta tematik, penentuan kriteria, tumpang susun, pembobotan yang kemudian menghasilkan zonasi kelayakan lahan. Namun demikian, diagram alur perencanaan zonasi RZWP3K tersebut memiliki beberapa hal yang perlu diperbaiki terkait dengan konsep standarisasi data, tumpang susun peta tematik, serta tidak ada pelibatan preferensi masyarakat lokal terkait dengan zonasi khususnya untuk zonasi budidaya:

- a. Sistem standarisasi data dan tumpang susun peta tematik yang melibatkan multi-parameter memerlukan pertimbangan khusus terkait dengan sifat parameter sebagai faktor pembatas (*constraint*) atau faktor penentu klasifikasi (*site capability*). Dalam sistem *multi-criteria decision analysis* (MCDA) baik pembobotan (*weighted*) maupun tanpa pembobotan (*non-weighted*), standarisasi data spasial setiap parameter harus dilakukan pada *feasible areas*. *Feasible area* adalah area dapat digunakan untuk klasifikasi kelayakan lahan yang telah melalui tahap *screening* menggunakan faktor pembatas (*constraint*). Malcezewski (2000) yang melakukan simulasi menggunakan metode *overlay arithmetic weighted*



Gambar 146
Efek standarisasi data spasial dengan geometric mean di mana (a) standarisasi dilakukan di awal untuk semua kriteria, (b) standarisasi dilakukan pada *feasible area* (Photo credit: Albasri, 2018 menggunakan data simulasi dari Malcezewski (2000))

linear combination dan Albasri (2018) yang melakukan simulasi *overlay geometric non-weighted linear combination* menemukan bahwa akan terjadi over estimasi nilai kelayakan lahan jika parameter pembatas ditumpangsusunkan pada parameter yang telah terstandarisasi. Untuk itu tata cara yang tertuang dalam dokumen teknis zonasi RZWP3K tersebut di atas perlu perbaikan terkait dengan pendetailan metode tumpangsusun mengikuti standar yang bisa diacu dalam Malcezewski (2000).

- b. Dalam peraturan tata cara penyusunan RZWP3K juga tidak dijelaskan pilihan sistem tumpang susun yang berfungsi untuk menyatukan semua parameter spasial yang telah distandarisasi. Beberapa pilihan sistem tumpang susun yang tersedia dalam sistem informasi geografis antara lain adalah menggunakan *arithmetic mean*, *geometric mean* dan *fuzzy logic*. Masing-masing metode tumpangsusun ini memiliki efek yang berbeda yang mempengaruhi hasil akhir kelayakan lahan. Contoh yang paling jelas adalah tumpangsusun menggunakan *arithmetic mean* menghasilkan nilai kelayakan positif (>0) suatu areal lahan meskipun terdapat satu parameter yang memiliki nilai = 0 untuk lokasi tersebut. Lain hal dengan tumpangsusun menggunakan *geometric mean* yang akan tetap menghasilkan nilai kelayakan = 0 untuk suatu areal lahan meskipun hanya ada satu parameter yang bernilai = 0 dan parameter-parameter lain bernilai > 0 . Mengingat hal tersebut di atas, penggunaan metode-metode tumpangsusun perlu disesuaikan dengan karakteristik lokasi/zonasi, parameter-parameter kelayakan lahan yang digunakan dan tujuan klasifikasi kelayakan lahan.
- c. Dokumen tata cara penyusunan RZWP3K terkait zonasi perikanan budidaya juga membahas secara komprehensif parameter-parameter terkait kelayakan lahan budidaya. Parameter-parameter yang dimasukkan misalnya untuk kelayakan lahan/zonasi untuk budidaya kerapu, tambak udang dan rumput laut pada umumnya terkait dengan kondisi fisika, kimia dan biologi perairan yang tentu saja valid secara ilmiah. Namun demikian, konsep pengelolaan perikanan budidaya berkelanjutan berbasis ekosistem selalu mencantumkan pentingnya konsep keterlibatan pemangku kepentingan dalam proses penilaian kelayakan lahan.

Untuk mendukung konsep ini, penilaian kelayakan lahan khususnya budidaya, dokumen tata cara penyusunan RZWP3K perlu memasukkan parameter-parameter kelayakan lahan terkait dengan preferensi masyarakat lokal. Hal ini akan menjamin bahwa kelayakan suatu zonasi lahan budidaya tidak hanya ditentukan oleh kemampuan suatu lahan untuk mendukung aktivitas budidaya dari aspek fisika, kimia dan biologi perairan, namun juga ditentukan oleh preferensi masyarakat lokal sebagai pengguna utama dari zonasi zonasi tersebut. Albasri (2018) menyarankan paling tidak bahwa preferensi lokasi

zonasi budidaya oleh pembudidaya ikan perlu dipertimbangkan dimasukkan dalam analisis untuk menjamin aksesibilitas dan efisiensi budidaya itu sendiri serta faktor “visual amenity” yang terkait dengan tingkat gangguan visual lokasi budidaya dari perspektif pengguna lain misalnya wisatawan atau konservasi. Pelibatan preferensi masyarakat lokal dan pengguna lain akan menjamin bahwa kelayakan lahan budidaya di kawasan perairan Indonesia tidak hanya menjamin kesesuaiannya dari aspek kapabilitas lahan (fisika, kimia, dan biologi) namun juga dari aspek suitability lahan (preferensi pengguna lahan dan pengguna lain yang terkait).

Daya dukung (*carrying capacity*) yang seharusnya tak terpisahkan dengan analisis kelayakan lahan budidaya masih sangat jarang dimasukkan sebagai salah satu kewajiban dalam pengusulan zonasi perikanan budidaya di Indonesia. Permasalahan yang mendasar adalah perspektif yang menganggap bahwa daya dukung merupakan hal yang dapat dipisahkan dari kelayakan lahan. Hal ini bertentangan dengan pandangan FAO yang menyatakan bahwa kelayakan lahan dan daya dukung merupakan bagian yang tidak terpisahkan dan harus dinyatakan secara eksplisit dalam setiap perencanaan zonasi/kelayakan lahan budidaya (Albasri, 2018). Dalam dokumen tata cara penyusunan RZWP3K yang menjadi salah satu contoh dokumen referensi resmi tidak mencantumkan analisis daya dukung sebagai salah satu prasyarat dalam pengelolaan zonasi perikanan budidaya di Indonesia. Padahal, dalam peraturan perundang-undangan setingkat menteri seperti peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan dan peraturan Menteri Kehutanan dan Lingkungan Hidup secara umum mensyaratkan bahwa aktivitas budidaya ikan harus memiliki kajian daya dukung sebagai bagian tidak terpisahkan dengan kajian kelayakan lahan.

Analisis daya dukung perikanan budidaya dapat dilakukan lain melalui prediksi dan perhitungan berdasarkan model dinamika oksigen dan nutrient, model hidrodinamika dan model matematika atau gabungan antara model-model tersebut. Model dinamika oksigen dan nutrient menentukan daya dukung lahan berdasarkan hubungan antara ketersediaan oksigen untuk spesies budidaya dan organisme alami (seperti makrozoobenthos) yang dihubungkan dengan beban limbah organik dari aktivitas budidaya tersebut. Model hidrodinamika menghitung tentang distribusi limbah organik budidaya berdasarkan pada pola pasut, kecepatan dan arah arus. Model dinamika oksigen dan nutrient lebih cocok digunakan untuk menjelaskan daya dukung lahan dalam skala lokal sementara model hidrodinamis dapat menjelaskan penyebaran limbah budidaya sampai skala regional.

Model matematik seperti *Modelling-Ongrowing Fish Farm – Monitoring* (MoM) system (Stigebrandt, 1999) menggunakan model matematis yang dapat digunakan baik untuk skala lokal maupun untuk skala regional. Ketiga alternatif di atas memiliki keuntungan dan kelemahan, seperti model oksigen

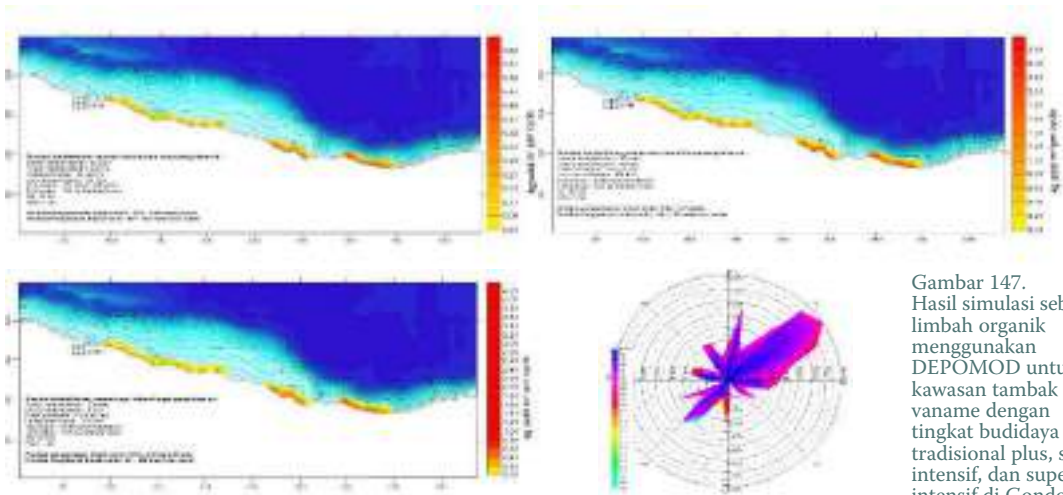
dan nutrient relatif mudah untuk dilakukan namun hanya dapat merepresentasikan daya dukung skala lokal sementara model hidrodinamis membutuhkan keahlian khusus, pengukuran beberapa parameter yang membutuhkan akurasi tinggi dan jangka panjang namun dapat secara akurat mengukur penyebaran sedimen sampai pada skala lokal. Metode matematis seperti MOM memiliki keuntungan keduanya yaitu dapat digunakan baik skala lokal maupun regional, dapat menghitung padat tebar berdasarkan ketersediaan oksigen (terkait padat tebar), maksimum produksi terkait dengan kondisi ammonia di air budidaya serta pengaruh limbah budidaya terhadap makrozoobenthos sebagai salah satu indikator batas daya dukung lingkungan. Model matematik seperti MOM ini sangat tepat digunakan dalam perancangan zonasi sistem budidaya seperti dalam RZWP3K dikarenakan kemudahan dalam analisisnya, rendah biaya dan memiliki akurasi yang dapat diterima untuk skala zonasi regional.

Untuk meningkatkan akurasi dari perhitungan daya dukung, model model diatas banyak digabungkan dan dikemas dalam bentuk perangkat lunak komputer *user-friendly* seperti yang tertera di tabel di bawah ini:

Tabel 10.
Sistem estimasi dan pengukuran daya dukung yang telah digunakan dilingkungan perikanan budidaya

Author	Daya Dukung	Tujuan
Kapetsky (1989)	<i>Shrimp Farming</i>	<i>Site Selection</i>
Silvert (1994)	<i>Envt. Impacts</i>	<i>Mariculture Environmental impact</i>
Nath <i>et al.</i> (1996)	<i>POND</i>	<i>Site selection</i>
Enrst <i>et al.</i> (2000)	<i>AquaFarm</i>	<i>Site selection</i>
Aciar	<i>CADS_TOOL</i>	<i>Site selection & Carrying Capacity</i>
LUCO (1998)	<i>BCAS</i>	<i>Site selection for salmonid</i>
Ferreira <i>et al.</i> (2007)	<i>FARM</i>	<i>Site selection & CC for shellfish & finfish</i>
Wang <i>et al.</i> (2008)	<i>RDSS</i>	<i>Fish growth and envt threshold</i>
Cromey <i>et al.</i> (2002)	<i>DEPOMOD</i>	<i>Carrying capacity for fish farm</i>
Stigebrant (2002)	<i>MOM</i>	<i>Carrying Capacity (mathematical model)</i>
Corelab (2018)	<i>Corelab DSS</i>	<i>Site Selection and CC</i>

Salah satu contoh sistem prediksi dan pengukuran daya dukung yang potensial digunakan di Indonesia untuk menghitung daya dukung lahan budidaya khususnya budidaya laut (KJA) adalah DEPOMOD. *Software* yang sederhana ini dapat digunakan untuk menentukan sebaran limbah organik



Gambar 147. Hasil simulasi sebaran limbah organik menggunakan DEPOMOD untuk kawasan tambak vaname dengan tingkat budidaya tradisional plus, semi intensif, dan super intensif di Gondol, Bali Utara (Photo credit: Albasri et al., 2019)

budidaya dalam satu zonasi yang terdiri atas dua atau lebih media budidaya (KJA) termasuk untuk menghitung padat tebar yang sesuai dengan kondisi hidrodinamika dan praktek budidaya yang dilakukan. Gambar di atas merupakan hasil simulasi tentang sebaran limbah organik dari 30 tambak budidaya vaname di lingkungan perairan Gondol, Bali Utara berdasarkan pola arus dominan yang ada di daerah tersebut.

Dengan mengkombinasikan antara hasil pengukuran hidrodinamika dan praktek budidaya yang dilakukan, *software* ini dapat melakukan prediksi jumlah total limbah budidaya persatuan waktu yang diinginkan, efek yang ditimbulkan dari limbah tersebut terhadap biota. Informasi ini kemudian dapat digunakan oleh pemerintah dalam melakukan monitoring dan evaluasi dari perkembangan budidaya pada satu lokasi. Selain itu, pemerintah juga

Gambar 148. Sistem produksi padat dan tidak beraturan di budidaya laut di Cina (Photo credit: shutterstock)



dapat mengambil tindak-tanduk mitigasi berdasarkan informasi dari sistem ini sehingga pengelolaan zona budidaya dapat dilakukan dengan lebih baik oleh pemerintah daerah.

Penggabungan antara kelayakan lahan dan daya dukung dalam sistem zonasi RZWP3K serta aplikasinya secara lebih luas dalam tata kelola pengembangan budidaya di Indonesia diharapkan menghindarkan pembangunan perikanan budidaya yang tidak dapat terkontrol dan hanya berorientasi pada keuntungan ekonomi semata. Hal ini juga untuk menghindari stigma negatif dialamatkan kepada perikanan budidaya yang dianggap tidak dapat berkelanjutan hanya karena beberapa contoh budidaya ikan yang merusak lingkungan yang terjadi di beberapa tempat.

6.7 Kesehatan dan Keamanan Produk Perikanan Budidaya

Salah satu aspek penting yang mendukung perwujudan perikanan budidaya berkelanjutan di Indonesia adalah identifikasi, penanganan, dan mitigasi kesehatan ikan di Indonesia. Perkembangan perikanan budidaya yang mengalami eskalasi baik dari sisi penggunaan lahan, pakan, padat tebar, introduksi benih dan induk dari luar negeri kualitas, penyebaran penyakit antar regional/negara (*transboundary fish diseases*), kualitas air serta aspek manajemen budidaya lainnya telah memunculkan berbagai penyakit ikan baik yang disebabkan oleh virus, bakteri, parasit dan jamur yang menyerang sistem budidaya air tawar, payau dan laut di Indonesia.

Berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 91/Kepmen-KP/2018 Tentang Penetapan Jenis-Jenis Hama dan Penyakit Ikan Karantina, Golongan, Media Pembawa, dan Sebarannya, terdapat 23 jenis penyakit virus, 5 penyakit bakteri bakterial, 6 penyakit parasitik, dan 3 mikotik (jamur) yang diawasi dan harus dikendalikan di Indonesia. Jumlah yang terdapat dalam keputusan MKP ini memunculkan 5 jenis penyakit virus

Tabel 11.
Penyebaran jenis
penyakit di perikanan
budidaya (sumber:
Sunarto, 2003)

No.	Transboundary aquatic animal pathogens	References
1	<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	Sachlan 1952
2	<i>Thelohanellus pyriformis</i>	Sachlan 1952
3	<i>Lernaea cyprinacea</i>	Djajadiredja et al. 1983
4	<i>Myxobolus koi</i>	Djajadiredja et al. 1983
5	<i>Myxosoma</i> sp.	Djajadiredja et al. 1983
6	<i>Aphanomyces invadans</i>	Djajadiredja et al. 1983
7	Yellow head virus (YHV)	Rukyani 1994
8	Indovirus	Owens 1994
9	White spot syndrome virus (WSSV)	Sunarto 1995
10	Viral nervous necrosis (VNN)	Zafran and Yuasa 1999
11	Koi herpesvirus (KHV)	Sunarto et al. 2002
12	Taura syndrome virus (TSV)	Lightner 2002

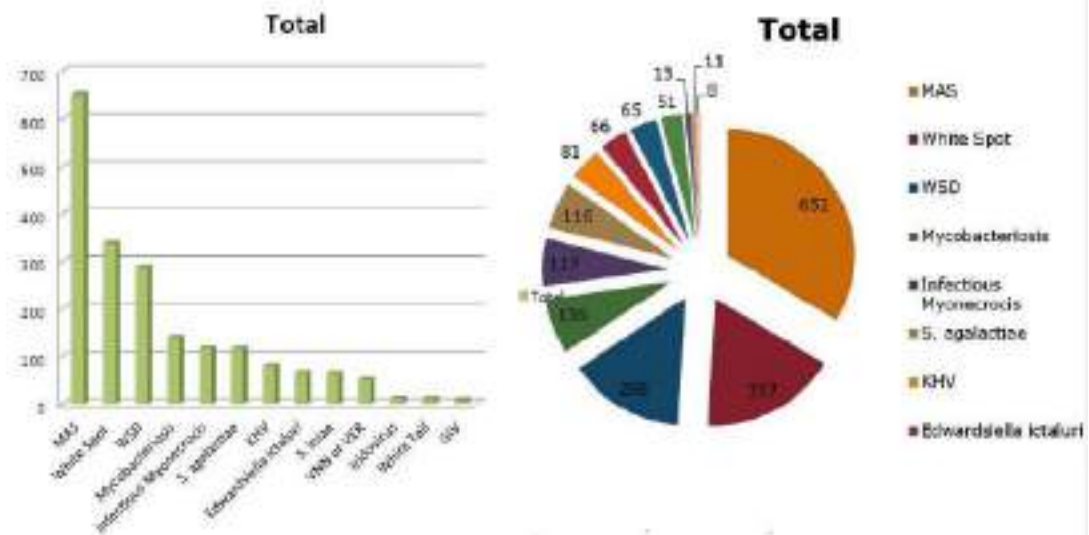


Gambar 149. Gejala klinis beberapa penyakit utama pada ikan budidaya di Indonesia: (a) *Aeromonas Hydrophilla* pada Ikan Mas, (b) *Koi Herpes Virus* pada Koi, (c) *Streptococcus Agalactiae* pada ikan nila, (d) *White spot syndrome virus* (WSSV) pada udang monodon, (e) *Infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus* (IHHNV) pada udang putih *Litopenaeus vannamei*, (f) *Taura Syndrome Virus* (TSV) pada udang putih *Litopenaeus vannamei* (Photo Credit: Koesharyati, 2019, Taukhid 2019).

baru dan terjadi penurunan jenis penyakit bakterial dari 11 menjadi 6 jenis dan 5 menjadi 3 jenis mikotik (jamur) dari Keputusan MenKP yang sama yang dipublikasi tahun 2003. Tidak terdapat alasan yang detail mengapa terjadi kenaikan dan penurunan jumlah jenis-jenis penyakit ini, sehingga diperlukan studi lanjutan untuk mengetahui penyebab hal tersebut.

Sunarto *et al.*, (2004) mengidentifikasi setidaknya terdapat 12 jenis penyakit di perikanan budidaya di Indonesia yang 4 diantaranya secara ekonomi paling banyak menyebabkan kerugian yaitu *White Spot Syndrome Virus* (WSSV) pada udang windu (*Penaeus monodon*), *Taura Syndrome Virus* (TSV) pada udang vaname (*Penaeus vannamei*), *Viral Nervous Necrosis* (VNN) pada kerapu (*Cromileptes altivelis* dan *Epinephelus* spp.) dan kakap putih (*Lates calcarifer*), dan *Koi Herpesvirus* (KHV) pada koi dan ikan mas (*Cyprinus carpio*).

Upaya penanganan dan pengendalian penyakit saat ini telah dilakukan oleh berbagai institusi riset dan perguruan tinggi negeri di Indonesia melalui



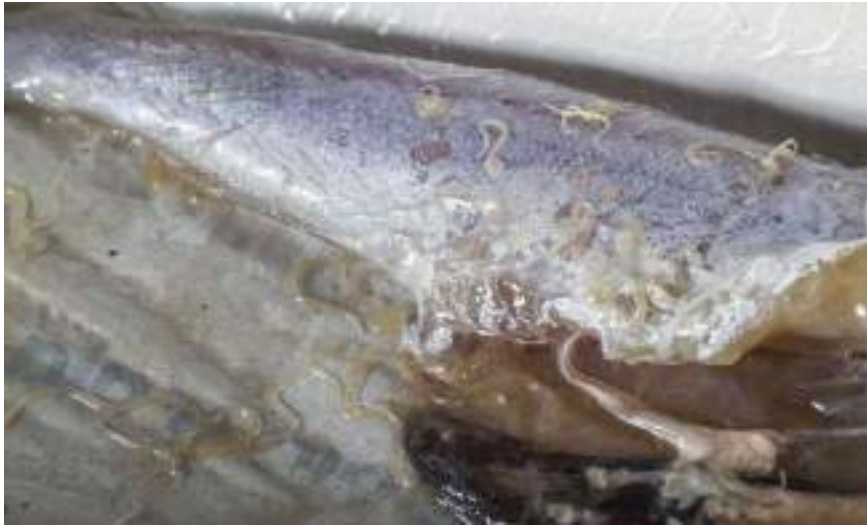
Gambar 150. Sistem online Informasi Penyakit Ikan (SIMPATIK) pada tahun 2016 dengan total jumlah sebanyak 1805 kasus (Photo Credit: Hastuti, 2017).

sistem karantina, diagnosis, dan inspeksi kejadian outbreak yang mencakup (Sunarto *et al.*, 2004) :

- Training dasar dasar kesehatan ikan,
- Training lanjutan terkait *parasitology, mycology, bacteriology, histopathology, immunology, dan molecular biology*
- Penggunaan teknik diagnostic cepat
- Penggunaan teknologi PCR (*polymerase chain reaction*)
- Pengembangan obat dan vaksin

Beberapa produk kesehatan ikan yang telah dikembangkan oleh unit kerja di lingkup KKP dan mendapatkan sambutan yang baik di tingkat pembudidaya adalah Vaksin StreptoVac dan Vaksin HydroVac yang masing masing digunakan untuk pencegahan *S. agalactiae* dan *A. hydrophylla* pada ikan tawar. Dalam budidaya laut, beberapa trial awal pengembangan vaksin juga telah dicoba untuk pencegahan penyakit *sleepy disease iridovirus* pada ikan kerapu, vaksin rekombinan untuk penyakit WSSV pada udang windu dan vaksin bivalen untuk penyakit virus VNN dan GSDIV pada larva ikan kerapu dan kakap. Namun usaha ini masih berada pada tahap awal meskipun telah menunjukkan hasil yang positif.

KKP sebagai pemangku kepentingan utama pengembangan perikanan budidaya berkelanjutan juga telah lama memulai usaha-usaha mitigasi pengendalian penyakit melalui pembentukan gugus tugas khusus untuk mengatasi dan mitigasi penyebaran penyakit ikan budidaya di Indonesia. Misalnya, pembentukan Tim Kerja pengendalian penyakit dan usaha budidaya di Waduk Cirata dan Waduk Jatiluhur. Selain itu, KKP juga telah merancang strategi nasional pengendalian kesehatan ikan dan lingkungan bekerja sama



Gambar 151.
Cacing Anisakis yang menginfeksi produk ikan (Photo credit: shutterstock)

dengan FAO. Salah satunya strategi yang diusung dalam strategi nasional ini adalah upaya perbaikan sistem pelaporan kejadian serangan dan kejadian penyakit ikan di Indonesia untuk memudahkan pengendalian dan prediksi kejadian penyakit-penyakit tersebut. Pembentukan lembaga pusat dan daerah terkait dengan pengendalian dan mitigasi pencegahan penyakit yang melekat pada Badan Karantina Ikan dan Pengendalian Mutu juga menjadi prioritas KKP sebagai salah bentuk kesiapan pengendalian dan rencana tindak darurat penyebaran penyakit ikan di lingkungan budidaya di Indonesia.

6.7.1 Kontaminan dan Keamanan Pangan Produk Budidaya (antibiotik, pestisida, logam berat, mikroplastik)

Keamanan produk ikan budidaya menurut definis Codex Alimentarius tentang Prinsip Umum Higienis Pangan sebagai "jaminan agar pangan budidaya tidak akan menyebabkan kerugian bagi konsumen ketika disiapkan dan/atau dikonsumsi sesuai dengan tujuan penggunaannya (MSU, 2013). Pada dasarnya kontaminan terdiri atas kontaminan biologi (bakteri, parasit, virus), kimia (racun alami, logam berat, antibiotik, pestisida dan bahan fisik (kaca, logam, tulang, benda asing lainnya seperti mikroplastik). Kontaminan dalam produk ikan budidaya di Indonesia tercatat pernah menyebabkan ditolaknya beberapa produk ekspor budidaya ke negara negara maju. Tahun 2007 terdapat 15 kasus ditolaknya ekspor ikan budidaya dan tangkap oleh Uni Eropa dan 4 kasus pada tahun 2008 terkait logam berat, histamin, dan *chloramfenicol* atau antibiotik (Kompas, 2008, <https://nasional.kompas.com/read/2008/12/13/14294994>, diakses 25 Juli 2019). Secara gradual, kasus kasus terkait dengan kontaminasi antibiotik, pestisida, dan logam berat semakin berkurang dari tahun ke tahun.

Contoh kontaminan biologi adalah kehadiran cacing Anisakis (nematoda) pada ikan konsumsi mentah dan cacing pipih (*trematoda*). Kontaminan kimia pada ikan budidaya yang paling umum ditemukan adalah kehadiran *Ciguatoxin* pada ikan karang budidaya yang terpapar *Dinoflagellate* dan *Scombrototoxin* atau yang dikenal dengan keracunan histamin pada ikan yang tidak dibekukan paska panen. Kontaminan bahan kimia lain termasuk *malachite green*, *chloramphenicol*, dan nitrofurantoin serta jenis-jenis bahan kimia lain seperti *Diklorodifeniltrikloroetana* (DDT), *Dichlorodiphenyldichloroethylene* (DDE), *Polychlorinated biphenyls* (PCBs) serta bahan deterjen dan desinfektan yang banyak terakumulasi di daerah pesisir dan DAS yang notabene menjadi lokasi terbaik untuk budidaya ikan.

Kehadiran bahan fisik seperti kaca, logam, dan tulang lebih sering terjadi pada proses paska panen produk ikan budidaya sehingga penguatan dalam pengawasan pengolahan produk mutlak dibutuhkan. Khusus untuk kontaminasi mikroplastik, saat ini telah menjadi isu internasional dan masuk sebagai isu keamanan pangan dalam konteks RPJMN. Di lingkungan perikanan budidaya, isu mikroplastik belum mendapatkan perhatian seperti yang terjadi pada perikanan tangkap. Di Indonesia, penelitian mikroplastik masih berkisar pada konsentrasi plastik di laut dalam (Cordova and Wahyudi, 2016), *coral reef* (Cordova *et al.*, 2018), pantai (Syakti *et al.*, 2018, Syakti *et al.*, 2017) dan beberapa jenis-jenis ikan non budidaya (H Amirulloh *et al.*, 2018). Sampai saat ini belum ada penelitian yang membahas tentang potensi distribusi dan efek mikroplastik pada ikan budidaya ataupun ikan liar yang berasosiasi dengan keramba jaring apung di perairan pantai.



Gambar 152.
Ilustrasi kontaminasi mikroplastik pada ikan konsumsi (*Photo credit: shutterstock*)

Indirect pathway mikroplastik ke ikan budidaya yaitu melalui pemberian pakan menggunakan *fish meal* atau tepung ikan yang diimpor. Tepung ikan merupakan bahan baku utama pakan ikan yang ditujukan sebagai sumber protein untuk ikan budidaya. Penggunaan tepung ikan untuk industri pakan di Indonesia sangat besar mencapai rata-rata 74 ribu metrik ton setiap tahun selama 20 tahun terakhir (USDA, 2019). Tepung ikan ini dihasilkan dari proses pengolahan ikan ikan pelagis utuh dan limbah ikan termasuk sistem pencernaan ikan tanpa proses pemisahan kandungan berbahaya yang kemungkinan besar mengandung mikroplastik. Menurut FAO (2017), proses homogenasi dan pengeringan akan menghasilkan tepung ikan dengan kandungan mikroplastik yang relatif lebih tinggi per satuan berat dibandingkan dari sumber mikroplastik yang lain.

Namun demikian, penelitian tentang karakterisasi dan penentuan sumber mikroplastik dalam tepung ikan yang digunakan dalam semua produk pakan ikan di dunia dan khususnya di Indonesia belum pernah dilakukan (FAO, 2017). Kondisi ini diperumit dengan publikasi dari National Geographic Indonesia (2019) (diakses tanggal 1 Februari 2019) yang mengestimasi bahwa seorang individu dapat menelan 11.000 mikroplastik setiap tahunnya melalui konsumsi *seafood*. Meskipun estimasi ini belum dapat diverifikasi secara ilmiah khususnya untuk Indonesia, namun berpeluang menyebabkan penurunan laju konsumsi *seafood* dan permintaan produk-produk perikanan laut lainnya akibat kekhawatiran konsumen menelan mikroplastik dalam jumlah besar. Produk-produk ekspor perikanan budidaya di Indonesia berpotensi untuk ditolak di pasar internasional karena kecurigaan yang tidak berdasar akan kandungan mikroplastik dalam produk produk tersebut.

6.8 Tata Kelola Perikanan Budidaya Indonesia

Undang-undang No.7/2016 mengamanatkan bahwa pembudidaya ikan kecil dilindungi keberadaannya dari aspek perizinan usaha, akses finansial, serta perlindungan kompetisi dengan pembudidaya ikan berskala menengah dan besar. Tata kelola perikanan budidaya dari aspek perijinan budidaya secara tegas menjamin hak pembudidaya kecil untuk melakukan aktivitas budidaya. Hal ini terlihat dari tidak disyaratkannya izin usaha perikanan pada pembudidaya kecil dan hanya diwajibkan untuk mendaftarkan usahanya pada pemerintah daerah setempat untuk kemudahan pengawasan dan kebutuhan data perkembangan budidaya. Secara bersamaan, pembudidaya skala menengah dan besar yang cenderung dimiliki oleh pemodal diwajibkan tidak hanya memiliki izin usaha budidaya tetapi juga harus memiliki izin AMDAL usaha *hatchery* dan pembesaran dengan luas lahan >0.5 ha dan >2 ha.

Syarat-syarat ini tentu tidak ditujukan untuk mempersulit pembudidaya skala menengah dan besar namun lebih untuk melindungi pembudidaya kecil terkait dengan kompetisi penggunaan lahan untuk budidaya dan



Gambar Pengukuran lobster



Gambar Pengukuran Kepiting



Gambar Pengukuran Rajungan

Gambar 153.
Cara pengukuran lebar/panjang karapas dari tiga genus SDI yang diatur dalam Peraturan MenKP No. 56/Permen-KP/2016 (Photo credit: KKP)

perlindungan efek lingkungan dari aktivitas budidaya skala menengah dan besar. Meskipun perlindungan terhadap pembudidaya kecil telah terjamin melalui undang-undang di atas, beberapa perbaikan dari sisi perizinan yang perlu ditelaah lebih lanjut adalah pemberian hak kepada pembudidaya kecil untuk ikut menentukan pemberian izin lokasi budidaya kepada pembudidaya menengah dan besar. Beberapa kasus konfrontasi antara pembudidaya kecil dengan skala besar terjadi terkait pemberian izin lokasi yang tidak mendapatkan persetujuan masyarakat lokal seperti yang terjadi di Kepulauan Raja Ampat (McLeod *et al.*, 2009) dan di Pulau Komodo (TNC, 2010). Untuk itu, perlu diinisiasi pemberian hak izin formal (*formal consent*) kepada masyarakat lokal untuk menentukan apakah operasi budidaya skala menengah atau besar dapat beroperasi. Pemberian hak izin formal ini tidak hanya menjamin akses pembudidaya kecil dan masyarakat lokal secara umum, namun juga menciptakan *bargaining position* kuat bagi pembudidaya kecil yang bisa mendapatkan sumber tambahan pendapatan baru secara berkelompok (*leasing system*) untuk areal budidaya mereka yang dimanfaatkan oleh pembudidaya skala menengah dan besar.

Perbaikan tata kelola perikanan budidaya di Indonesia juga dilakukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan melalui pembatasan ekspor dan penerapan kuota untuk beberapa jenis ikan tertentu. Yang paling banyak mendapatkan perhatian publik tentunya adalah larangan penangkapan dan pengeluaran jenis lobster (*Panulirus* spp., kepiting (*Scylla* spp.), dan rajungan (*Portunus* spp.) melalui Peraturan MenKP No. 56/Permen-KP/2016. Peraturan tersebut secara tegas melarang penangkapan atau pengeluaran ketiga genus yang berada dalam kondisi bertelur, dan memiliki panjang/lebar karapas atau berat kurang dari 8 cm/200 gram untuk lobster, 15 cm/200 gram untuk kepiting dan 10 cm/60 gram untuk rajungan. Peraturan tersebut pada prinsipnya menasar kepada perlindungan sumber daya ke tiga genus tersebut dari aktivitas penangkapan. Khusus untuk lobster, pelarangan penangkapan tidak hanya untuk ukuran lobster di bawah 8 cm lebar karapas/200 gram berat lobster, namun juga untuk benih lobster. Namun demikian, penerapannya ternyata berimbas pada ranah perikanan budidaya dimana benih lobster (*puerulus*) alam tidak dapat dimanfaatkan meskipun untuk benih budidaya pembesaran lobster. Belum adanya produk benih lobster



Gambar 154.
Pengiriman ilegal
benih lobster
(puerulus) ke luar
negeri (Photo credit:
bkipm.kkp.go.id)

melalui *hatchery*, mengakibatkan pelarangan tersebut secara efektif meniadakan usaha pembesaran lobster dari benih. Pasca penerapan peraturan tersebut, produksi budidaya turun drastis dari 914 ton di tahun 2013 menjadi 218 ton pada tahun 2016 (FAO, 2019). Pelarangan penjualan lobster khususnya untuk ukuran di bawah 200 gram secara efektif menjadikan budidaya lobster tidak menguntungkan. Hal ini karena kelangsungan hidup (SR) lobster untuk pemeliharaan sangat rendah dan tingginya nilai *feed conversion ratio* sehingga pemeliharaan sampai 200 gram sebagai batas minimal ukuran lobster legal menjadikan proses budidaya semakin berisiko secara ekonomi.

Pelarangan penjualan benih lobster juga memantik diskusi hangat di lingkup akademisi dan praktisi serta penolakan di kalangan pembudidaya lobster sehubungan dengan suplai benih yang berhenti untuk budidaya pembesaran. Hal ini karena larangan penjualan tidak hanya berlaku untuk pasar ekspor namun juga pasar domestik. Dari sisi penggunaan lobster khususnya benih lobster untuk riset, peraturan tersebut menyebabkan pengumpul benih lobster tidak dapat melakukan atau ragu untuk secara resmi

melakukan penangkapan benih lobster untuk kebutuhan riset. Pelarangan tersebut menyebabkan penelitian tentang lobster cenderung mengalami stagnasi terkait dengan menyusut drastisnya aktivitas budidaya di lapangan yang menjadi pemakai utama hasil hasil penelitian yang dilakukan. Hal ini berpeluang kembali bertumpunya sistem suplai lobster di pasar pada aktivitas penangkapan yang akan menekan lebih jauh populasi alami lobster di alam. Untuk itu, beberapa pasal dalam peraturan tersebut harus ditelaah kembali untuk memperkuat sistem produksi lobster dari budidaya termasuk pelonggaran terhadap riset untuk penggunaan benih dan budidaya pembesarannya serta dukungan pemerintah pada budidaya lobster secara umum sehingga Indonesia tidak tertinggal dari negara-negara seperti Vietnam dalam hal budidaya lobster. Selain itu proses pengawasan terkait ekspor lobster ilegal perlu terus ditingkatkan karena naiknya harga *puerulus* (benih lobster) memicu oknum tidak bertanggung jawab untuk memanfaatkan situasi ini. Usulan dan kritik terhadap produk peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan ini telah direspon dengan baik oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan melalui instruksi Menteri Kelautan dan Perikanan di akhir tahun 2019 yang menekankan peninjauan kembali atas peraturan tersebut dan peraturan peraturan lain yang memiliki permasalahan serupa. Respon positif ini diharapkan oleh banyak pemerhati dan pelaku usaha dapat meningkatkan kembali peluang usaha dan kompetitas Indonesia di bidang perikanan budidaya khususnya untuk spesies-spesies ikan budidaya yang bernilai tinggi di pasar Internasional.

Pengangkutan produk ikan budidaya khususnya ikan karang hidup (*life reef fish trade/LRFT*) juga menjadi salah satu produk tata kelola baru yang tercantum dalam Peraturan MenKP No. 32/Permen-KP/2016. Peraturan ini secara tegas mengatur transshipment ikan hidup dari dan keluar Indonesia hanya pada empat pelabuhan muat singgah. Dalam peraturan tersebut yang merupakan revisi atas peraturan sebelumnya, pengangkutan ikan hidup ke luar Indonesia dapat dilakukan di empat pelabuhan muat singgah yang dapat dipilih dari 181 pelabuhan angkut yang ada di Indonesia. Penjelasan tentang pilihan pelabuhan angkut ini tidak tercantum dalam peraturan MKP di atas sehingga perlu disosialisasikan secara lebih terperinci kepada semua stakeholder perikanan budidaya khususnya kepada pembudidaya-pembudidaya kecil yang memiliki akses dan pengetahuan terbatas terhadap produk-produk hukum yang berkaitan dengan mata pencahariannya.

Pembatasan pelabuhan muatan ini pada satu sisi sangat bermanfaat untuk mengontrol sistem produksi dan pemasaran serta meningkatkan akurasi pencatatan jumlah produksi ikan budidaya hidup. Namun demikian, perlu diantisipasi terkait dengan kompleksitas pengangkutan ikan hidup dari sentra-sentra budidaya ke pelabuhan angkut utama yang berkaitan dengan ketersediaan alat transportasi angkut ikan hidup lokal, informasi yang akurat kedatangan pembeli, serta resiko ekonomi terkait dengan makin banyaknya rantai muat/angkut ikan hidup yang secara langsung menurunkan margin keuntungan baik



pembudidaya maupun eksportir. Pembatasan pada jumlah pelabuhan muat singgah, ukuran dan frekwensi kunjungan kapal angkut ikan hidup asing juga menjadi perhatian dan mendapatkan kritik keras dari pelaku usaha dan pemerhati perikanan budidaya. Pembatasan ini secara positif ditujukan untuk mengurangi *transshipment* ikan hidup ilegal baik dari budidaya dan tangkap serta transaksi ilegal lainnya seperti *human trafficking* dan barang ilegal lainnya. Namun, pembatasan ini secara efektif menurunkan profitabilitas ekonomi usaha kapal angkut dan jumlah produksi ikan budidaya yang dapat di jual. Misalnya, pembatasan jumlah pelabuhan muat singgah menyebabkan kapal angkut ikan hidup tidak dapat mengoptimalkan volume angkut karena dibatasi titik angkut pada 4 pelabuhan tersebut. Serupa dengan pelarangan lobster, kepiting, dan rajungan, KKP juga akan meninjau kembali dan melakukan perubahan produk peraturan tersebut untuk mewujudkan pengelolaan perikanan budidaya yang efektif, berimbang serta berkelanjutan.

Kompleksnya usaha-usaha untuk mencapai pembangunan perikanan berkelanjutan di Indonesia tentu saja tidak boleh dibebankan seluruhnya kepada lembaga teknis terkait. Peran lembaga riset sebagai pengawal kebijakan pembangunan dan menyediakan inovasi-inovasi kreatif terkait perikanan budidaya berkelanjutan perlu diperkuat. Peran lembaga penyuluhan dan pendidikan juga menjadi aspek penting terkait dengan penguatan kemampuan teknis dan manajemen dari pembudidaya ikan khususnya pembudidaya skala kecil. Koordinasi yang baik antara lembaga teknis, riset, dan penyuluhan serta training serta tentu saja masyarakat pembudidaya utama menjadi hal yang penting jika Indonesia ingin terus berada sebagai salah satu produsen terbesar perikanan budidaya di Indonesia (Rimmer *et al.*, 2013).

Gambar 155.
Formasi KJA circular
di Danau Toba,
Indonesia

BAB VII

Bioteknologi Maritim

Dedi Noviendri

*Balai Besar Riset Pengolahan Produk Dan Bioteknologi Kelautan
dan Perikanan*

Muhammad Nursid

*Balai Besar Riset Pengolahan Produk Dan Bioteknologi Kelautan
dan Perikanan*

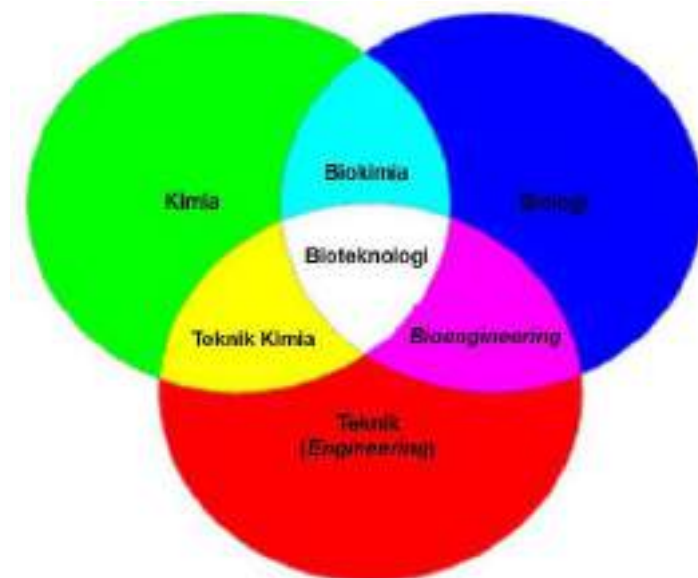
Sitasi:

Noviendri D. & Nursid M. 2019. Bioteknologi Maritim, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Bioteknologi Maritim

Bioteknologi berasal dari kata bio yang memiliki arti 'hidup; atau 'organisme hidup', dan kata teknologi artinya suatu cara atau teknik. Pada prinsipnya definisi bioteknologi umumnya mengaitkan pada kegiatan mikroba dan sistem proses biologi, dengan produksi barang dan jasa atau yang mengaitkan aktivitas biologi dengan proses teknik dan produksi dalam industri (Fahrudin, 2010).

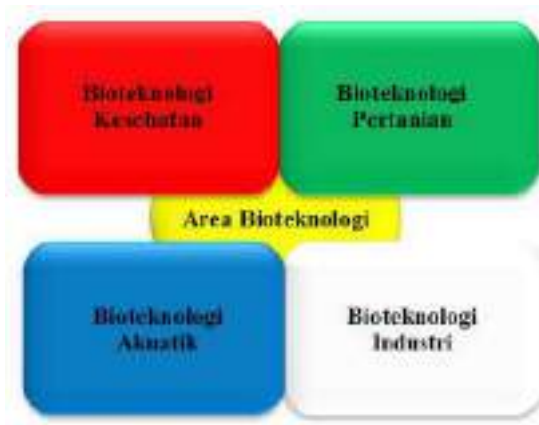
Bila dikaitkan dengan bidang ilmu yang menunjang bioteknologi, maka definisi bioteknologi adalah proses transformasi dengan memanfaatkan pengetahuan biologi, biokimia, biofarmasi, biologi molekuler, mikrobiologi, dan kemajuan rekayasa (*engineering*) dalam sebuah riset menggunakan sel hidup untuk membawa penemuan baru dan penyempurnaan masalah di berbagai bidang kehidupan manusia. Dengan kata lain, bioteknologi adalah ilmu terapan yang menggabungkan berbagai cabang ilmu yang dapat dikelompokkan dalam tiga cabang ilmu, yaitu kimia, biologi dan ilmu teknik/rekayasa (*engineering*) dalam proses produksi barang dan jasa seperti ditunjukkan pada Gambar 154.



Gambar 156.
Diagram yang menghubungkan peranan ilmu biologi, kimia dan teknik (*engineering*) untuk mendukung bidang bioteknologi dalam proses produksi barang dan jasa.

7.1 Pembagian Bioteknologi Berdasarkan Warna dan Area Aktivasnya

Definisi bioteknologi dapat dibagi lagi menjadi 4 (empat) area yang dikenal sebagai merah, hijau, biru dan putih (Gambar 157):



Gambar 157.
Empat Pembagian
Bioteknologi
Berdasarkan
Warna dan Area
Aktivasnya.

1. **Bioteknologi Merah (*Red biotechnology*):** Area ini mencakup prosedur medis seperti memanfaatkan organisme untuk produksi obat baru atau menggunakan sel punca untuk mengganti/meregenerasi jaringan yang terluka dan mungkin meregenerasi seluruh organ, serta terapi gen untuk mengobati penyakit genetik. Bioteknologi ini bisa disebut bioteknologi kesehatan. Beberapa contoh hasil bioteknologi merah yang sukses yaitu vaksin, obat, serum, dan lain-lain.
2. **Bioteknologi Hijau (*Green biotechnology*):** Bioteknologi hijau berlaku untuk pertanian dan peternakan yang melibatkan berbagai proses, seperti menghasilkan tanaman yang tahan terhadap serangan hama, bahan pangan dengan kandungan gizi yang lebih tinggi, tanaman yang dapat digunakan sebagai pengobatan, serta pemanfaatan hewan sebagai bioreaktor untuk menghasilkan antibodi protein. Beberapa contoh hasil bioteknologi hijau adalah produk pestisida, produk pembasmi hama, produk probiotik untuk ternak, dan berbagai macam produk lainnya.
3. **Bioteknologi Biru (*Blue biotechnology*):** Bioteknologi biru ini juga mengacu *marine biotechnology*, mencakup proses di lingkungan akuatik atau perairan, termasuk proses pencarian dan pemanfaatan sumber daya hayati laut (*marine biodiversity*) dalam rangka meningkatkan kesejahteraan umat manusia tanpa merusak lingkungan. Beberapa contoh bioteknologi biru misalnya produksi *biofuel* dari mikroalga, produksi senyawa aktif dari invertebrata laut, vaksin untuk mempercepat aktivitas hormon seksual ikan, dan lain-lain. Bioteknologi biru akan dibahas secara lebih rinci dalam bab tersendiri.

4. **Bioteknologi Putih (*White biotechnology*):** Bioteknologi putih (juga disebut abu-abu) melibatkan proses industri seperti pengembangan dan produksi senyawa kimia baru serta pembuatan sumber energi terbarukan dengan memanfaatkan makhluk hidup. Pemanfaatan makhluk hidup dalam bidang industri ini lebih banyak menekankan kepada manipulasi mikroorganisme seperti bakteri, virus sehingga menghasilkan enzim dan senyawa yang dapat memudahkan produksi dan pengolahan limbah industri. Beberapa produk bioteknologi putih/abu-abu yang sukses mempermudah aktivitas kehidupan manusia yaitu bir, ragi, enzim, dan berbagai macam penemuan lainnya.

Namun, seiring perkembangan zaman, sekarang ini keempat warna tersebut di atas telah berkembang menjadi sepuluh warna dan pembagian area serta aktivitas bioteknologipun bertambah juga dan semakin spesifik (Tabel 11)

Tabel 11.
Sepuluh
Pembagian
Bioteknologi
berdasarkan
Warna dan Area
Aktivitasnya

Tipe Warna	Area dan Aktivitas Bioteknologi
Merah	Resinifikasi, Matriks Organik
Kuning	Bioteknologi Pangan, Pengetahuan Nutrisi
Biru	Akuakultur, Coastal dan Marine Biotechnology
Hijau	Pertanian, Bioteknologi Lingkungan – <i>Biofuel</i> , <i>Biofertilizer</i> , Bioremediasi, Geomikrobiologi
Coklat	Zona Gurun, Bioteknologi Padang Pasir
Gelap	Bioterorisme, <i>Biowarfare</i> , <i>Biocrimes</i> , <i>Anticrop warfare</i>
Ungu	Patent, Publikasi dan Inovasi
Putih	Bioindustri Berdasarkan Gen
Emas	Bioinformatika, Nanobioteknologi
Abu-abu	Fermentasi Klasik dan Teknologi Bioproses

7.1.1 Bioteknologi Konvensional

Bioteknologi berdasarkan waktu dan teknologi yang digunakannya dapat dibagi menjadi dua jenis, yakni bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern. Perbedaan ini dapat dilihat dari teknologi yang digunakan serta produk yang dihasilkan. Bioteknologi konvensional adalah bioteknologi yang jenis penerapannya masih menggunakan metode-metode tradisional dalam prosesnya, sehingga disebut juga sebagai bioteknologi tradisional. Adapun ciri-ciri bioteknologi konvensional adalah sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan terdiri dari alat-alat sederhana
2. Telah digunakan sejak awal peradaban manusia
3. Teknologi yang digunakan masih terbatas dalam skala kecil dan sederhana
4. Pemanfaatan mikroorganisme masih terbatas dengan proses yang sederhana.

Contoh-contoh produk dari jenis bioteknologi ini pun masih sederhana, seperti produk pangan berupa pembuatan *yoghurt*, *nata de coco*, antibiotik penisilin, minuman anggur, tahu, tempe, rusip, dan bekasam (Gambar 158), yang hanya melibatkan proses fermentasi dan mikroorganisme kapang yang sederhana.

Gambar 158. Rusip (a) dan bekasam (b) contoh produk bioteknologi konvensional

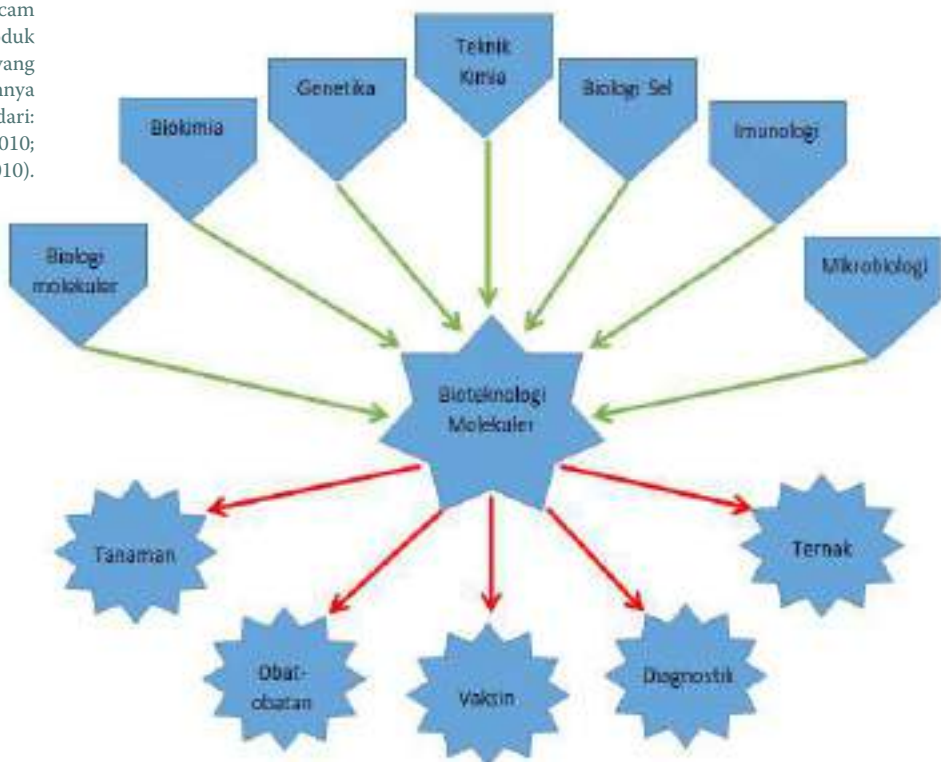


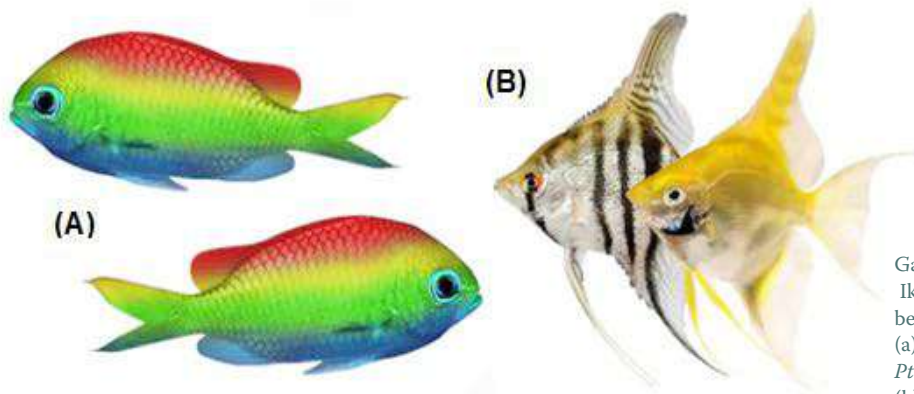
7.1.2 Bioteknologi Molekuler (Modern)

Bioteknologi modern atau yang biasa disebut bioteknologi molekuler adalah bioteknologi tradisional atau konvensional yang telah berkembang dengan menggunakan teknologi yang canggih dan lebih maju (Gambar 159). Bioteknologi modern ini merupakan bioteknologi yang memanfaatkan makhluk hidup untuk menghasilkan barang dengan menggunakan teknologi canggih, seperti penggunaan ilmu biologi molekuler dan sel. Jenis bioteknologi ini menggunakan teknologi yang lebih maju, misalkan rekayasa genetika, organisme (ikan) transgenik (Gambar 160) atau yang lebih dikenal dengan *Genetically Modified Organism (GMO)*, dan lain sebagainya, yang bermain pada tingkat susunan genetik sebuah organisme. Pada prinsipnya bioteknologi modern lebih banyak menggunakan sumber genetik, yaitu DNA organisme yang telah dimanipulasi atau yang disebut dengan rekayasa genetika (Fahrudin, 2010).

Rekayasa genetika dan rekayasa biokimia merupakan contoh dari penggunaan biologi molekuler. Produk yang dihasilkan bioteknologi modern ini sifatnya lebih seragam, lebih baik, dan kuantitasnya lebih banyak. Selain menggunakan teknologi yang maju dan canggih, biasanya dalam bioteknologi modern ini juga mengharuskan lingkungan kerja ataupun prosesnya bersifat bersih dan steril, karena dengan adanya sedikit kontaminasi mikroorganisme saja bisa mempengaruhi hasil.

Gambar 159. Ilmu-ilmu dasar yang berkontribusi pada bioteknologi molekuler, berbagai macam produk komersial yang dihasilkan (Diadaptasi dari: Fahrudin, 2010; Glick *et al.*, 2010).





Gambar 160
Ikan pelangi yang
berwarna warni
(a), dan ikan hias
Pterophyllum Scalare
(b) contoh hasil
rekayasa genetika
(DNA rekombinan)
atau bioteknologi
modern.

7.2 Manfaat dan Dampak Negatif Bioteknologi

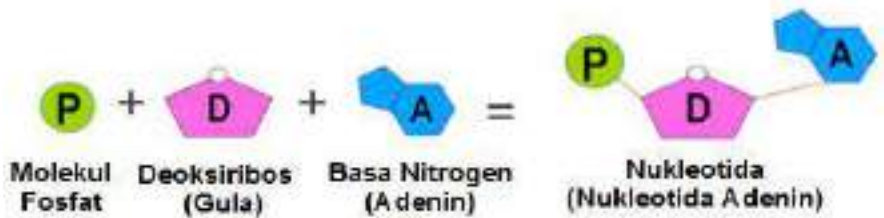
Penerapan bioteknologi dalam pemanfaatan makhluk hidup untuk menghasilkan barang atau jasa yang dibutuhkan oleh manusia memiliki manfaat yang banyak sekali. Secara umum, manfaat tersebut meliputi meningkatkan hasil produksi pertanian, perikanan dan perkebunan dengan dapat meminimalkan risiko-risiko yang sebelumnya dapat terjadi sebelum adanya penggunaan bioteknologi; mengurangi pencemaran lingkungan, dan menerapkan proses daur ulang dengan menggunakan bakteri atau mikroorganisme lain; dapat menghasilkan antibiotik yang dapat digunakan untuk mengobati penyakit-penyakit yang disebabkan oleh bakteri; dapat menghasilkan obat-obatan yang relatif lebih murah dengan hasil yang efektif.

Namun di balik manfaat yang diberikan, penerapan bioteknologi memiliki dampak negatif yang ditimbulkannya, antara lain dapat menyebabkan terjadi kerusakan ekosistem, karena diketahui bahwa beberapa jenis produk tanaman dengan rekayasa genetik dapat menurunkan jenis spesies. Hal ini karena spesies tersebut tidak akan makan tanaman hasil rekayasa genetika; hilangnya tanaman dan hewan dengan kualitas yang dibawah standar. Tentunya hal ini berakibat pada berkurangnya keanekaragaman hayati (biodiversitas jadi rendah); dapat menyebabkan reaksi-reaksi bagi tubuh manusia, seperti alergi dan lain sebagainya.

7.3 DNA Heliks Ganda dan Teknologi DNA Rekombinan

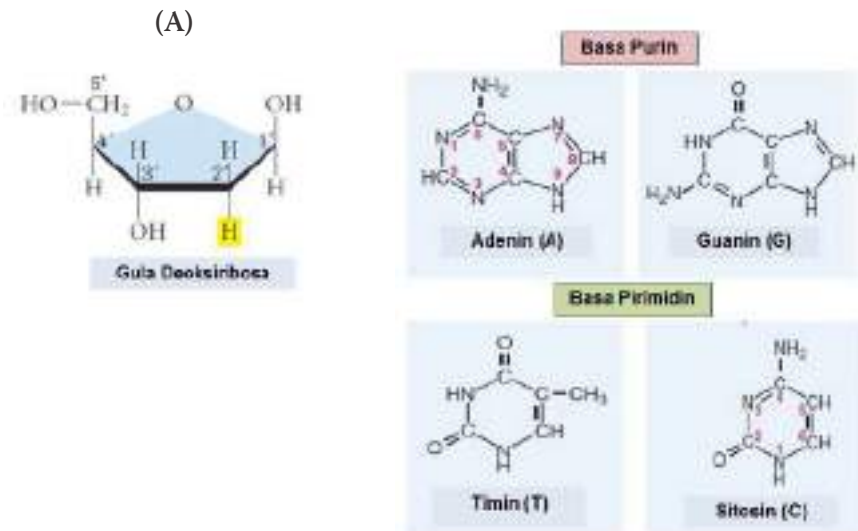
DNA disusun oleh gugus fosfat dan gula deoksiribosa yang tersusun bergantian menjadi tulang punggung (*backbone*) molekul DNA. Sementara pada bagian dalamnya terdapat basa-basa yang melekat pada molekul gula pentose. Salah satu contoh materi penyusun nukleotida (nukleotida Adenin) (Gambar 161).

Gambar 161.
Komponen penyusun suatu nukleotida

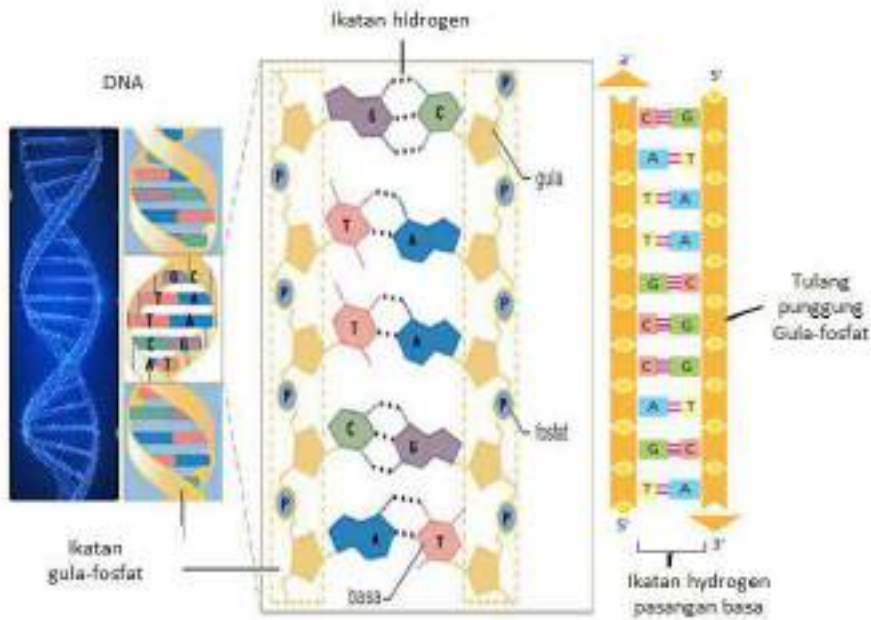


Kemudian DNA juga disusun oleh basa-basa nitrogen yaitu basa Guanin (G) yang akan berpasangan dengan basa Sitosin (C) dengan membentuk tiga ikatan hidrogen, sedangkan basa Adenin (A) akan berpasangan dengan basa Timin (T) dengan membentuk dua ikatan hidrogen (Gambar 162A). Dalam molekul DNA, jumlah basa G akan selalu sama dengan jumlah basa C, sedangkan jumlah basa A akan selalu sama dengan jumlah basa T (Gambar 162B).

Gambar 162.
Gula penyusun DNA (A) dan basa-basa nitrogen penyusun DNA (B) (Diadaptasi dari: Rapley, 2010).



Watson dan Crick pada tahun 1953 untuk pertama kalinya menemukan bentuk struktur sekunder DNA dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X. Struktur sekunder molekul DNA yang ditemukan berupa rantai heliks ganda yang memutar ke kanan. Kedua rantai polinukleotida penyusun DNA memutar pada sumbu yang sama dan bergabung menjadi satu dengan yang lainnya melalui ikatan hidrogen antara basa-basa nitrogen penyusunnya. Kedua untai DNA saling berkomplementasi melalui basa penyusunnya dengan arah antiparalel dan saling melilit satu sama lain membentuk struktur heliks ganda (Gambar 163).



Gambar 163.
Struktur heliks ganda molekul DNA dan arah antiparalel alaminya (5' ° 3') (Diadaptasi dari: Albert *et al.*, 2014)

Apa itu Teknologi DNA Rekombinan?

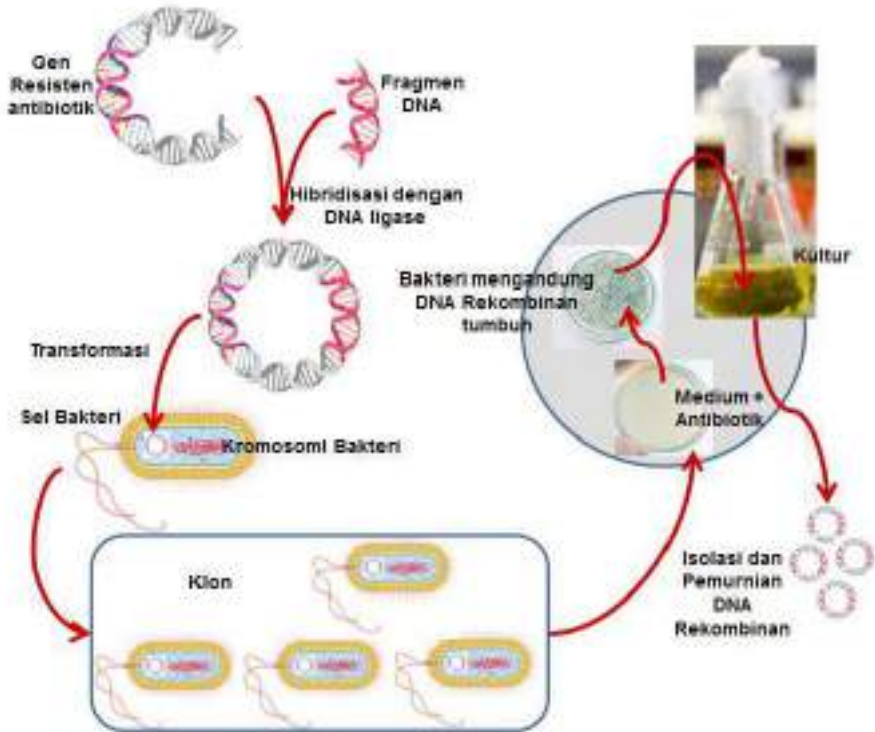
Teknologi DNA rekombinan adalah suatu metode untuk merekayasa genetik dengan cara menyisipkan (*insert*) suatu gen penyandi yang dikehendaki dalam suatu organisme dengan tujuan untuk mengubah sifat alami suatu individu menjadi sifat yang dikehendaki oleh manusia (Gambar 164). Teknologi DNA rekombinan atau yang sering dikenal dengan rekayasa genetika merupakan teknologi yang memanfaatkan proses replikasi, transkripsi dan translasi untuk memanipulasi, mengisolasi dan mengekspresikan suatu gen dalam organisme yang berbeda. Biasanya gen-gen dari organisme yang lebih tinggi diekspresikan pada organisme yang lebih rendah.



Gambar 164.
Ilustrasi Rekayasa Genetika

Dengan teknologi DNA rekombinan, akan dihasilkan kombinasi baru dari materi genetik melalui penyisipan molekul asam nukleat ke dalam suatu sistem DNA vektor (seperti plasmid bakteri, virus dan lain-lain). DNA vektor yang membawa materi genetik ini akan ditransformasi (dimasukkan) ke dalam suatu sel inang (*host cell*) bakteri, sehingga akan dihasilkan suatu produk gen dalam jumlah banyak yang akan menghasilkan perubahan yang diinginkan dalam organisme (Gambar 165)

Gambar 165.
Proses Teknologi
DNA Rekombinan



7.4 Polimerase Chain Reaction (PCR)

Polimerase Chain Reaction (PCR) yang dalam bahasa Indonesia diartikan sebagai reaksi rantai *polimerase* yaitu merupakan teknik yang digunakan dalam bidang biokimia dan genetika molekuler. Teknik yang diperkenalkan pertama kali oleh Kary Banks Mullis, seorang ilmuwan asal Amerika ini telah memiliki andil yang sangat besar dan acap sering kali disebut-sebut sebagai anugerah baru dunia sains. Betapa tidak, sejak awal penemuannya pada pertengahan tahun 1980, PCR telah mampu dimanfaatkan untuk mendeteksi dan mengamplifikasi (menggandakan) DNA dalam jumlah yang besar (Gambar 166). Selain itu, teknik PCR juga dinilai lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan teknik kloning menggunakan bakteri, pendahulu yang dahulunya membuat peneliti terpaksa menunggu selama berhari-hari.



Gambar 166.
Alat PCR untuk
Amplifikasi DNA

Tujuan PCR

Tujuan PCR tidak lain adalah untuk menggandakan DNA. Namun uniknya, proses penggandaan justru dilakukan secara *in vitro* (di luar tubuh makhluk hidup). Teknik sederhana ciptaan Mullis ini merupakan teknik yang meniru sifat alami replikasi DNA. Karena meniru prinsip replikasi, maka komponen yang digunakan dalam PCR pun merupakan komponen yang sama persis dengan replikasi DNA.

Komponen Utama dan Tahapan Reaksi PCR

Ada empat komponen utama yang digunakan dalam reaksi PCR yaitu enzim *Taq* DNA polimerase, dNTP (*deoxynucleoside triphosphate*), DNA *template* (target amplifikasi), dan sepasang primer (primer *forward* dan *reverse*). Komponen lain yang juga tak kalah pentingnya adalah *bufer* (larutan dapar). Komponen ini berguna untuk menahan pH agar tidak mudah mengalami perubahan. Pada proses PCR, produk amplifikasi DNA merupakan suatu primer yang diperpanjang oleh enzim *Taq* DNA polimerase selama menempel pada rantai tunggal DNA *template*.

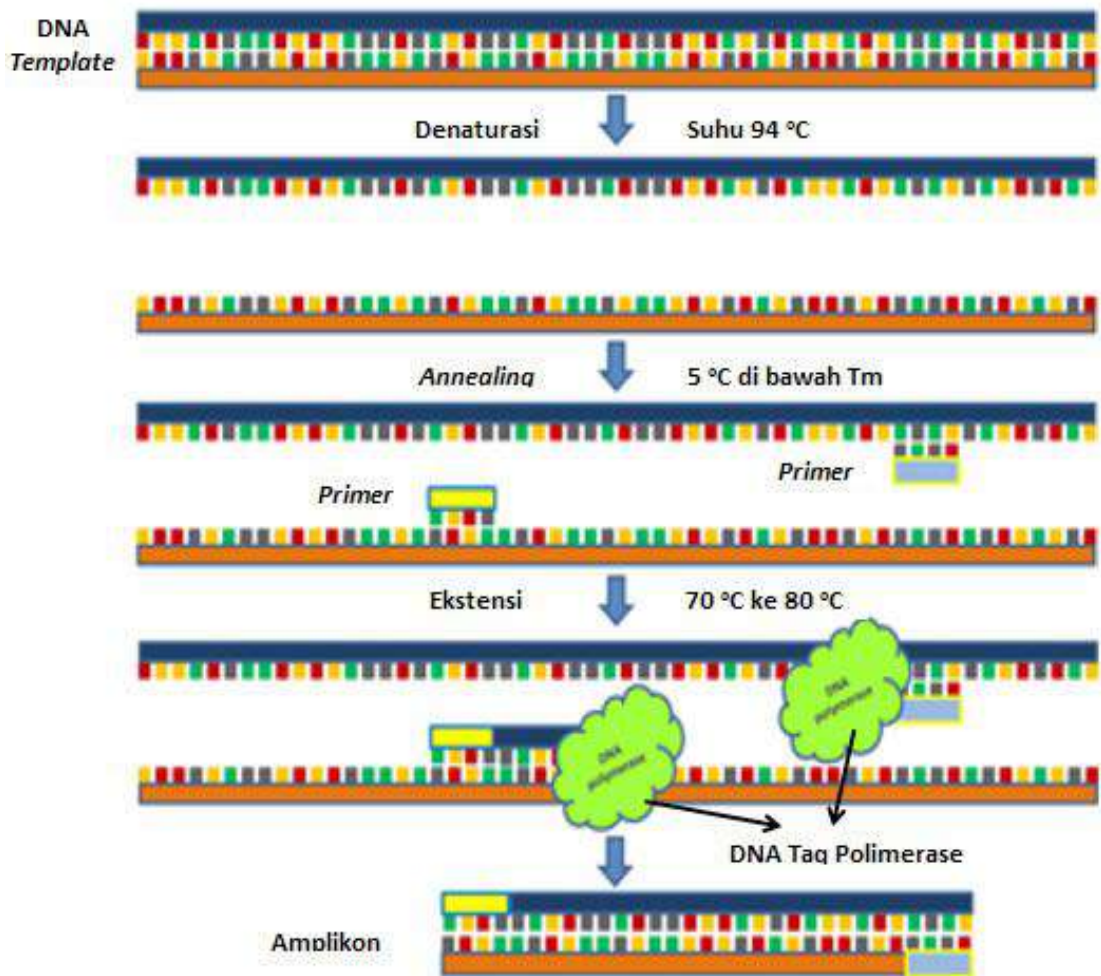
Primer merupakan inisiator dalam reaksi PCR dan merupakan DNA rantai tunggal pendek dengan panjang berkisar antara 20 sampai 30 urutan basa yang dirancang secara spesifik sesuai dengan urutan daerah lestarti DNA *template*. Mengapa hanya 20 sampai 30 urutan basa? Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan selektivitas serta mengurangi kemungkinan terjadinya *hairpin* (lipatan berbentuk tusuk konde) dalam rantai primer.

Primer yang digunakan dalam PCR umumnya terdiri atas dua jenis primer yaitu primer *forward* (primer yang terletak di sebelah kiri target penggandaan) dan primer *reverse* (primer yang terletak disebelah kanan target penggandaan). Selama proses pemanjangan, primer dikatalisis oleh enzim *Taq* DNA polimerase. Enzim “asal” *Thermus aquaticus* ini akan

memperpanjang setiap ujung primer dengan adanya dNTP yang merupakan *building blocks* alias “batu bata” penyusun DNA baru yang terdiri atas dATP, dCTP, dGTP, dan dTTP. Semua komponen tersebut sangat rentan terhadap perubahan pH, karena itu diperlukan *buffer bufer* (suatu larutan dapar) yang bertugas mengontrol kondisi pH selama reaksi berlangsung.

Untuk mendapatkan hasil penggandaan (kopian DNA) yang maksimal, reaksi PCR biasanya dilakukan antara 25-30 siklus. Tiap-tiap siklus pada reaksi PCR dibagi ke dalam 3 tahap utama; tahap denaturasi, primer *annealing* dan polimerisasi atau elongasi (Beamont & Hoare, 2003) (Gambar 167).

Gambar 167. Tahap-tahap dalam PCR (Diadaptasi dari: Lorenz, 2012).

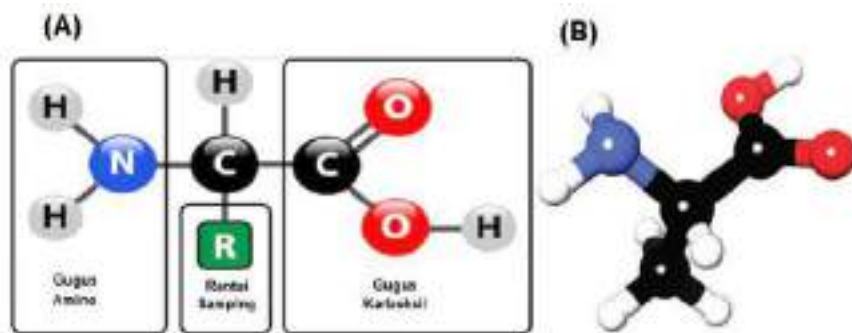


7.5 Biodiscovery Bahan Bioaktif dari Laut

A. Asam Amino dan Polipeptida (Enzim/Protein)

a. Asam Amino.

Asam amino adalah bagian terkecil dari struktur enzim/protein atau dengan kata lain merupakan monomer penyusun polimer polipeptida (enzim/protein). Karena itu bisa dikatakan enzim/protein adalah kumpulan dari beberapa asam amino. Sebagai bentuk paling sederhana dari enzim/protein, maka bentuk asam amino inilah yang nantinya bisa diserap oleh tubuh dan menjalankan fungsinya dengan baik. Pada prinsipnya, protein harus dihancurkan hingga menjadi asam amino agar dapat diserap oleh tubuh dan menjalankan fungsinya dalam tubuh. Struktur asam amino sederhana ini selalu tersusun atas empat bagian yaitu, (1) bagian gugus amino ($-\text{NH}_2$), (2) gugus karboksil ($-\text{COOH}$), (3) atom H, dan (4) gugus rantai samping yang akan membedakan jenis asam aminonya (Gambar 168).



Gambar 168
Struktur kimia penyusun asam amino (A), model ball & stick (B) (Diadaptasi dari: Albert *et al.*, 2014).

Fungsi Asam Amino

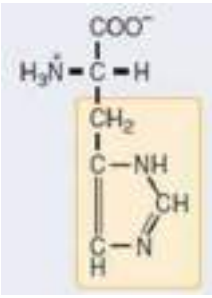
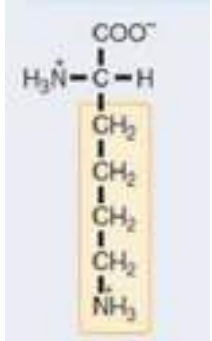
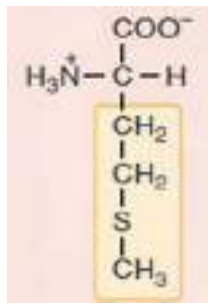
Asam amino ini memiliki banyak fungsi di dalam tubuh. Adapun fungsi-fungsi dari asam amino adalah:

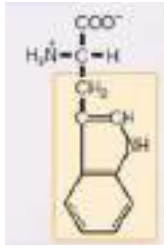
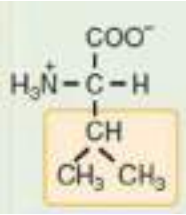
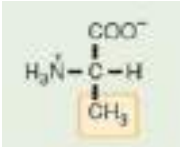

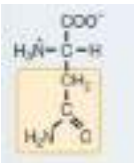
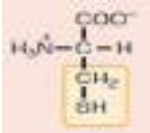
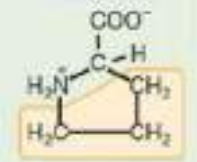
- ❖ Memperbaiki jaringan tubuh
- ❖ Menjaga suasana asam basa di dalam tubuh
- ❖ Membantu semua proses pertumbuhan dalam tubuh
- ❖ Menjaga keseimbangan cairan tubuh
- ❖ Membentuk hormon (Contohnya, hormon tiroid dan insulin).
- ❖ Membentuk enzim.
- ❖ Membentuk *neurotransmitter*.
- ❖ Membentuk sistem kekebalan tubuh.

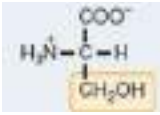
Jenis-jenis Asam Amino

Asam amino dibagi menjadi tiga, yaitu asam amino esensial, asam amino non esensial, dan asam amino kondisional (Tabel 12). Asam amino esensial adalah asam amino yang tidak bisa diproduksi sendiri oleh tubuh, karena itu, harus diperoleh dari makanan. Contohnya asam amino histidin, lisin, metionin, triptofan, dan valin. Asam amino nonesensial adalah asam amino yang dapat diproduksi oleh tubuh jika tidak didapatkan dari makanan yang dimakan. Contohnya asam amino alanin, asam glutamat, dan asparagin. Asam amino kondisional adalah kelompok asam amino yang bersyarat, dibutuhkan ketika sakit, terluka, dan mengalami stres. Contohnya asam amino sistein, glutamin, serin dan prolin.

Tabel 12.
Jenis-jenis
Asam amino dan
contohnya

No	Jenis Asam Amino	Contoh Asam Amino	Strukturanya	Singkatan	Kode Asam Amino
1	Esensial	Histidin		His	H
2		Lisin		Lys	K
3		Metionin		Met	M

No	Jenis Asam Amino	Contoh Asam Amino	Strukturanya	Singkatan	Kode Asam Amino
4		Triptofan		Trp	W
5		Valin		Val	V
6	Non Esensial	Alanin		Ala	A
7		Glutamat		Glu	E
8		Asparagin		Asn	N
9	Kondisional	Sistein		Cys	C
10		Prolin		Pro	P

No	Jenis Asam Amino	Contoh Asam Amino	Strukturanya	Singkatan	Kode Asam Amino
11		Ser		Ser	S

Asam Amino dari Mikrolaga

Ditinjau dari segi keamanan pangan dan faktor kesehatan, spirulina (suatu contoh mikroalga) dapat dengan bebas dikonsumsi oleh manusia. Pada saat ini di negara Asia Timur, konsumsi tepung spirulina semakin meluas, contohnya dalam bentuk pil pangan kesehatan. Protein dari spirulina kering dapat mencapai 72 persen dengan kandungan asam amino yang cukup seimbang. Nisbah asam nukleat/proteinnya rendah dibandingkan dengan sumber protein mikroba. Oleh karena itulah spirulina dapat dikonsumsi secara langsung oleh manusia tanpa pengurangan kandungan asam nukleat (Angka dan Suhartono, 2000). Adapun profil asam amino dari mikroalga *Spirulina* sp. dan mikroalga lainnya seperti *Chlorella* sp. dapat dilihat di Tabel 13.

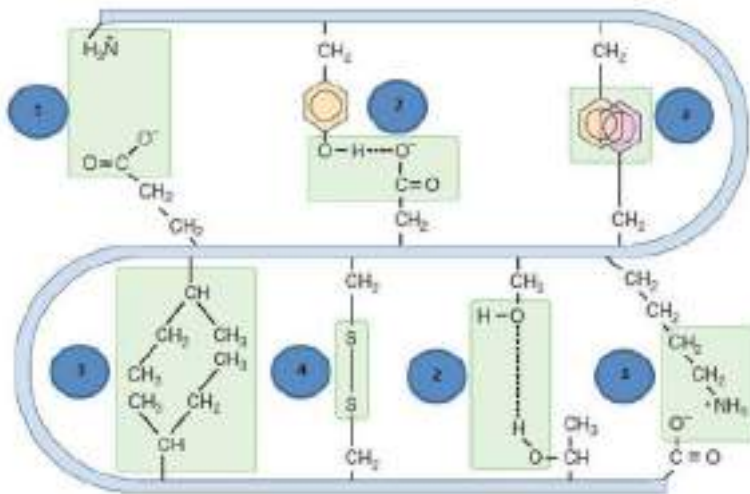
Tabel 13.
Profil Asam
Amino
Komersial
dihasilkan
Mikroalga (Kay,
1991).

Asam Amino (mg/g berat kering)	Mikroalga	
	<i>Chlorella</i> sp	<i>Spirulina</i> sp
Alanin	43	47
Arginin	33	43
Asam Aspartat	47	61
Asparagin	n/a	n/a
Sistin	n/a	6
Asam Glutamat	56	91
Glisin	31	32
Histidin	11	10
Isoleusin	23	35
Leusin	47	54
Metionin	31	29
Fenilalalin	13	14
Prolin	28	28
Serin	25	27
Treonin	20	32
Triptofan	24	9
Tirosin	n/a	30
Valin	32	40

Keterangan: n/a = not available (tidak tersedia)

Interaksi Antara Residu Asam Amino dalam Rantai Polipeptida (Enzim/Protein)

Di dalam rantai polipeptida (protein/enzim) banyak terdapat monomer-monomer asam amino penyusunnya. Antara asam-asam amino penyusun polipeptida tersebut terdapat interaksi dan saling mempengaruhi satu sama lain. Ada beberapa interaksi antara residu asam-asam amino dalam polipeptida (protein) yaitu: 1. Interaksi elektrostatis, 2. Ikatan hidrogen, 3. Interaksi hidrofobik, 4 ikatan disulfida (Gambar 169).



Gambar 169. Interaksi antara residu asam amino dalam rantai polipeptida (enzim/protein).

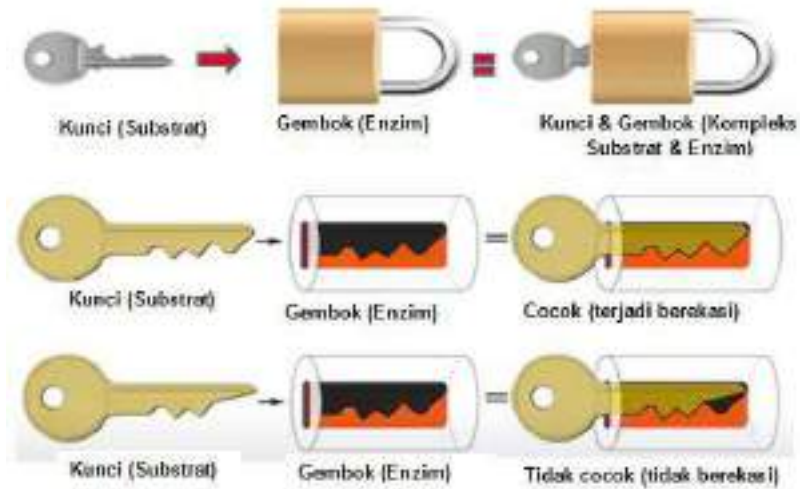
Keterangan: 1. Interaksi elektrostatis, 2. Ikatan hidrogen, 3. Interaksi hidrofobik, dan 4 ikatan disulfida

b. Enzim/ Protein

Enzim adalah sebuah senyawa yang tersusun atas senyawa protein (apoenzim) dan senyawa non protein (kofaktor) yang mempunyai sifat katalitik yang berfungsi untuk mempercepat (katalisis) suatu proses metabolisme pada tubuh organisme. Sifat katalitik tersebut diperoleh dari gugus kofaktor yang dapat berupa senyawa organik (koenzim serta gugus prostetik), ataupun senyawa anorganik (ion logam). Cara kerja enzim di dalam suatu reaksi metabolisme pada tubuh organisme yaitu dengan cara menurunkan energi aktivasi yaitu energi yang dibutuhkan untuk dapat memulai suatu reaksi. Dengan meminimalkan “cost” maka proses yang berlangsung dapat terjadi lebih cepat lagi.

Adapun cara kerja enzim dalam mempercepat reaksi kimia adalah dengan cara berinteraksi bersama substrat, setelah itu substrat tersebut akan diubah menjadi sebuah produk. Apabila terbentuk suatu produk, maka enzim dapat melepaskan “diri” dari substrat tersebut. Hal tersebut dikarenakan enzim tidak dapat bereaksi lagi dengan substratnya. Ada teori terkenal yang menggambarkan bagaimana cara kerja enzim, yaitu teori gembok dan kunci atau yang dikenal dengan model “*Lock and Key*” sebagai berikut (Gambar 170):

Gambar 170.
Cara kerja enzim
dengan model “Lock
& Key”



Kelas Fungsional Enzim dan *Historical Landmark* dari Protein.

Secara umum, Albert *et al.*, (2014) telah membagi kelas enzim menjadi 10 kelas fungsional berdasarkan fungsi biokimianya. Kesepuluh enzim tersebut adalah enzim hidrolase, nuklease, protease, ligase, isomerase, polimerase, kinase, fosfatase, oksidoreduktase dan ATPase (Tabel 14). Selanjutnya, Albert *et al.*, (2014) juga telah memaparkan suatu *historical landmark* dari protein yang diawali dengan pengusulan nama ‘Protein’. Kata protein (berasal dari Bahasa Yunani ‘*proteis*’ yang berarti “*primary*”). *Historical Landmark Protein* dari tahun 1838 sampai dengan tahun 2013 dapat dilihat pada (Tabel 15).

Tabel 14.
Beberapa Kelas
Fungsional Umum
dari Enzim (Albert *et al.*, 2014).

Kelas Enzim	Fungsi Biokimia
Hidrolase	Enzim yang mengkatalisis suatu reaksi pembelahan secara hidrolitik
Nuklease	Memutus asam nukleat dengan menghidrolisis ikatan antara nukleotida-nukleotida
Protease	Memutus protein dengan menghidrolisis ikatan peptide antara asam-asam amino
Ligase	Mengabungkan dua molekul bersamaan; DNA ligase mengabungkan dua untai DNA bersama secara end-to-end
Isomerase	Mengkatalisis pengaturan kembali ikatan dalam suatu molekul tunggal
Polimerase	Mengkatalisis reaksi polimerisasi seperti sintesis DNA dan RNA
Kinase	Mengkatalisis penambahan gugus fosfat ke molekul
Fosfatase	Mengkatalisis penghilangan hidrolitik suatu gugus fosfat dari suatu molekul
Oksidoreduktase	Nama umum untuk enzim yang mengkatalisis reaksi dalam satu molekul teroksidasi ketika yang lainnya tereduksi. Enzim tipe ini sering disebut oksidase, reduktase atau dehidrogenase
ATPase	Hidrolisis ATP

Tabel 15. *Historical Landmark* dari Protein dari tahun 1838-2013 (Albert *et al.*, 2014).

No	Tahun	Kejadian
1	1838	Nama Protein (dari Yunani <i>proteis</i> , "primary") diusulkan oleh Berzelius untuk bahan kompleks kaya nitrogen yang ditemukan dalam sel hewan dan tanaman
2	1819-1904	Ditemukan sebagian besar 20 asam amino umum penyusun protein
3	1864	Hoppe-Seyler mengkristalkan dan menamai protein hemoglobin
4	1894	Fisher mengajukan suatu analogi lock-and-key untuk interaksi enzim-substrat.
5	1897	Buchner dan Buchner menggambarkan bahwa ekstrak kapang bebas sel dapat merusak sukrosa untuk membentuk karbon dioksida dan etanol
6	1926	Sumner mengkristalkan urease dalam bentuk murni; Svedberg mengembangkan ultrasentrifus yang pertama dan menggunakannya untuk mengestimasi berat molekul hemoglobin
7	1933	Tiselius memperkenalkan elektroforesis untuk pemisahan protein dalam larutan
8	1934	Bernal dan Crowfoot mempresentasikan pertama kali pola difraksi sinar-X suatu protein, yang diperoleh dari kristal enzim pepsin.
9	1942	Martin dan Synge mengembangkan kromatografi, suatu teknik yang sekarang berkembang luas digunakan untuk memisahkan protein
10	1951	Pauling dan Corey mengusulkan struktur konformasi heliks dari suatu rantai asam amino, yaitu α -helix dan struktur β -sheet.
11	1955	Sanger menguji asam-asam amino dalam insulin, yaitu protein pertama yang sekuen asam aminonya diuji.
12	1956	Ingram menghasilkan sidik jari protein yang pertama.
13	1960	Kendrew menggambarkan struktur protein secara tiga dimensi yang pertama (sperm whale myoglobin) pada suatu resolusi 0,2 nm.
14	1963	Monod, Jacob, dan Changeux memperkenalkan bahwa beberapa enzim diatur melalui perubahan alosterik dalam konformasinya.
15	1966	Phillips menggambarkan struktur tiga dimensi lisozim dengan kristalografi sinar-X, enzim pertama yang dianalisis dalam detail atomik
16	1973	Nomura menyusun kembali suatu ribosom bakteri fungsional dari komponen yang telah dimurnikan.
17	1975	Henderson dan Unwin menguji struktur tiga dimensi yang pertama dari protein transmembran, menggunakan rekonstruksi berdasarkan komputer dari mikrograf elektron.
18	1976	Neher dan Sakmann mengembangkan patch-clamp recording untuk mengukur aktivitas ion-channel protein tunggal.
19	1984	Wüthrich menggunakan spektroskopi nuclear magnetic resonance (NMR) untuk menyelesaikan struktur tiga dimensi dari suatu protein sperma larut air.
20	1988	Tanaka dan Fenn secara terpisah mengembangkan metode untuk analisis protein dan makromolekul biologi lainnya.
21	1996-2013	Mann, Aebersold, Yates dan lainnya mengembangkan metode efisien untuk penggunaan spektroskopi massa untuk mengidentifikasi protein dalam campuran kompleks, mengeksplorasi keberadaan sekuen genom lengkap.

Enzim-enzim dengan substratnya dari sumber laut

Tricone, (2017) melaporkan bahwa, sampai sekarang sudah banyak beredar enzim-enzim dan substratnya yang berasal dari sumber laut. Adapun enzim tersebut adalah seperti: (1). enzim lipoksigenase atau hidroperoksida liase dengan substratnya adalah rumput laut genus *Ulva*, dan rumput laut coklat *Laminaria angustata*, (2). Enzim glukonase dari moluska laut *Spisula sacchalinesis* dengan substratnya Laminaran dari rumput laut coklat *Laminaria cichoriodes*, (3). Enzim liase dari spesies *Alteromonas* sp dengan substratnya Ulvan, (4). α -amilase dengan substratnya oligosakarida turunan karageenan, (5) dan lainnya (Tabel 16).

Tabel 16.
Beberapa enzim dan substratnya bersumber dari laut (Tricone, 2017)









NO	ENZIM (BIOKATALIS)	SUBSTRAT (BAHAN BAKUNYA)	PRODUK
1	Lipoksigenase/ hidroperoksida liase	Rumput laut genus <i>Ulva</i>	<i>Polyunsaturated aldehyde</i> : 2,4,7-dekatrienal dan 2,4-dekadienal
2	Lipoksigenase/ hidroperoksida liase	Rumput laut coklat: <i>Laminaria angustata</i>	C6 dan C9 <i>unsaturated aldehyde</i>
3	Enzim proteolitik	Cairan <i>gastric</i> dari keping laut	Produk proteolisis
4	$1^{\circ}3\text{-}\beta\text{-D}$ -Glukanase LIV dari moluska laut <i>Spisula sacchalinesis</i> dan $\alpha\text{-D}$ -Galaktosidase dari bakteri laut <i>Pseudomalteromonas</i> sp. KMM701	Laminaran dari rumput laut coklat: <i>Laminaria cichoriodes</i>	Oligo- dan turunan polisakarida yang memiliki aktivitas imunostimulan, antiviral, antikanker dan/ atau radioprotektif
5	Enzim pendegradasi kitin dari bakteri air laut <i>Alteromonas</i>	Kitin dan kito-oligosakarida	$\beta\text{-(1}^{\circ}6\text{)-}$ (GlcNAc) ₂
6	Endolitik alginat liase	Alginat dan oligosakarida alginat	Asam 4-deoksi-L-eritro-5-heksoselulosa uronat
7	β -liase pendegradasi ulvan dari spesies <i>Alteromonas</i>	Ulvan	Oligosakarida sulfat dari rumput laut <i>Ulva</i>
8	α -amilase komersial	Oligosakarida turunan karageenan	Hidrolisis dari κ -karageenan
9	Fungal <i>deacetylase</i>	Substrat kitin alami atau buatan sebagai N-asetilkito-oligosakarida	Heksa-N-deasetilkitoheksaose
10	Kitin baru hasil klon dari bakteri laut <i>Paenicibacillus barengoltzii</i> yang diekspresikan secara fungsional di dalam <i>E. coli</i>	Kitin dari cangkang keping	Kitinase menghidrolisis kitin koloidal menjadi N-asetil kitobiosa

11	Kitinase dari <i>Pseudoalteromonas tunicate</i> CCUG44952T	Koloidal dan Kristal kitin	Aktif juga dalam substrat kromogenik pNP-(GlcNAc)
12	Pektinase komersial	Mikroalga <i>Tetraselmis suecica</i>	Asam 3-deoksi-D-manno-okt-2-ulosonat
13	Endo dan ekso-glukanase dari sumber laut: endo-1,3- β -D-glukoanase (LIV) dari <i>Pseudocardium sacchalinensis</i> dan ekso-1,3- β -D-glukoanase dari <i>Chaetomium indicum</i>	Laminaran dari rumput laut coklat <i>Eisenia bicylis</i>	Fraksi-fraksi berbeda dari oligosakarida

Sumber-sumber Asam Amino dan Protein dari Laut

Ikan, udang, cumi, kerang, rumput laut, dan aneka makanan laut lainnya merupakan jenis sumber hewani asam amino dan protein dari laut, sedangkan mikroalga dan rumput laut adalah jenis sumber nabati asam amino dan protein dari laut. Sumber-sumber protein hewani dan nabati tersebut ditampilkan pada Tabel 17.

Tabel 17. Sumber-sumber protein hewani dan nabati yang terkenal dari laut

No	Jenis Biota Laut	Sebelum diolah	Setelah diolah	Sumber Protein
1	Ikan			Hewani
2	Udang			Hewani
3	Cumi-Cumi			Hewani
4	Rumput Laut			Nabati

B. Polisakarida

Polisakarida dapat diklasifikasikan berdasarkan 7 (tujuh) klasifikasi, yaitu: (1). Berdasarkan strukturnya, yaitu bentuk linear atau bercabang, (2). Berdasarkan komposisi kimia, yaitu homopolisakarida yang terdiri dari 1 jenis monosakarida; dan heteropolisakarida yang terdiri dari beberapa jenis monosakarida, (3). Berdasarkan solubilitasnya dalam air, yaitu larut air atau tidak larut air, (4). Berdasarkan asal sumbernya, yaitu berasal dari laut atau teresterial, tanaman, hewan dan mikroorganisme, (5). Berdasarkan muatan ioniknya, yaitu anionik, netral, atau kationik, (6). Berdasarkan modifikasi kimianya, yaitu original atau turunannya. Adapun kriteria untuk klasifikasi polisakarida, jenis dan contohnya diringkas dalam Tabel 18. (Laurienzo, 2018).

Tabel 18.
Ringkasan
klasifikasi
polisakarida dengan
contoh untuk
masing-masing
kriteria (Laurienzo,
2018)

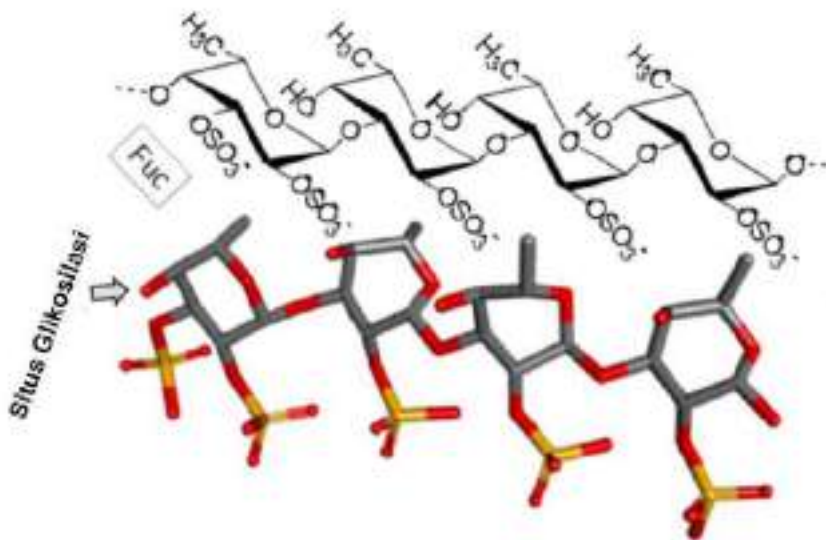
Kriteria Klasifikasi	Tipe	Contoh Polisakarida
Struktur	Linear	Amilosa, selulosa, alginat
	Bercabang	Glikogen, amilopektin
Komposisi Kimia	Homopolisakarida	Pati, glikogen, selulosa, kitin
	Heteropolisakarida	Agar, alginat, karagenan, glukosaminoglikan, gellan
Solubilitas dalam air	Larut air	Alginat
	Tidak larut air	selulosa
Origin	Teresterial:	
	Hewan	Glikogen, asam hyaluronat
	Tanaman	Pati, selulosa
	Bakteri	Gellan gum, xanthan gum, dektran
	Laut:	
	Rumput Laut	Alginat, karagenan, agarosa
	Hewan	Kitin
Mikrolaga, bakteri	Polisakarida ekstraseluler	
Fungsi Biologi	Struktural	Selulosa, alginat, kitin
	Cadangan Energi	Pati, glikogen
Muatan Ionik	Anionik	Alginat, karageenan, fukoidan
	Netral	Agarosa, kitin
	Kationik	Kitosan
Modifikasi Kimia	Original	Kitin, Selulosa
	Turunan	Kitosan, korboksimetil selulosa

a. Polisakarida dari Rumput Laut

Komponen utama rumput laut alga adalah polisakarida yang dapat mencapai 40-70 persen berat keringnya, bergantung kepada jenis rumput laut, dan keadaan lingkungan tumbuhnya (Angka dan Suhartono, 2010). Ada banyak sumber polisakarida dari laut. Polisakarida yang berasal dari rumput laut adalah fukoidan, alginat, karagenan, dan agar, sedangkan yang berasal dari sumber laut lainnya seperti kulit udang, atau rajungan adalah kitin dan kitosan. Namun dari banyak jenis polisakarida tersebut, polisakarida dari rumput laut yang akan dijelaskan dalam materi ini adalah polisakarida fukoidan dan alginat. Selanjutnya, polisakarida dari hewan laut yaitu kitin dan kitosan. Kemudian polisakarida pati pada mikroalga.

Fukoidan

Fukoidan adalah polisakarida dengan komponen utama L-fukosa dan gugus ester sulfat. Pada awalnya, fukoidan dinamakan '*fukoidin*' ketika pertama kali diisolasi dari rumput laut coklat oleh Kylin pada tahun 1913. Fukoidan di isolasi dari rumput laut coklat jenis *Ecklonia cava* kaya akan sulfat dengan komposisi utama fukoidan terdiri dari fukosa dan galaktosa dalam jumlah kecil. Adapun struktur kimia fukoidan dapat dilihat pada Gambar 171.



Gambar 171.
Struktur Kimia
Fukoidan
(Diadaptasi dari:
Vasconcelos &
Pomin, 2018)

Kim *et al.* (2007) memperoleh fukoidan dari rumput laut *Undaria pinnatifida* dengan rendemen sebesar 3,9 persen dari berat tepung melalui ekstraksi menggunakan asam, diendapkan dengan metanol dan pengendapan berikutnya dengan CaCl₂ 2 persen. Chandia dan Matsuhira (2008) mengisolasi fukoidan dari *Lessonia vadosa* dengan cara mengesktraksinya menggunakan CaCl₂ 2 persen, dari hasil ekstraksi tersebut diperoleh rendemen sebesar 4,4 persen dari tepung rumput laut.

Fukoidan dari rumput laut coklat (RLC) sudah banyak diteliti beserta bioaktivitasnya, diantaranya sebagai anti koagulan, anti trombotik, anti inflamatori, anti tumor, anti virus, anti kanker, dan anti tukak lambung (Sinha *et al.*, 2010). Berbagai aktivitas fukoidan dan sumber-sumber rumput laut penghasil fukoidan ditampilkan pada Tabel 19.

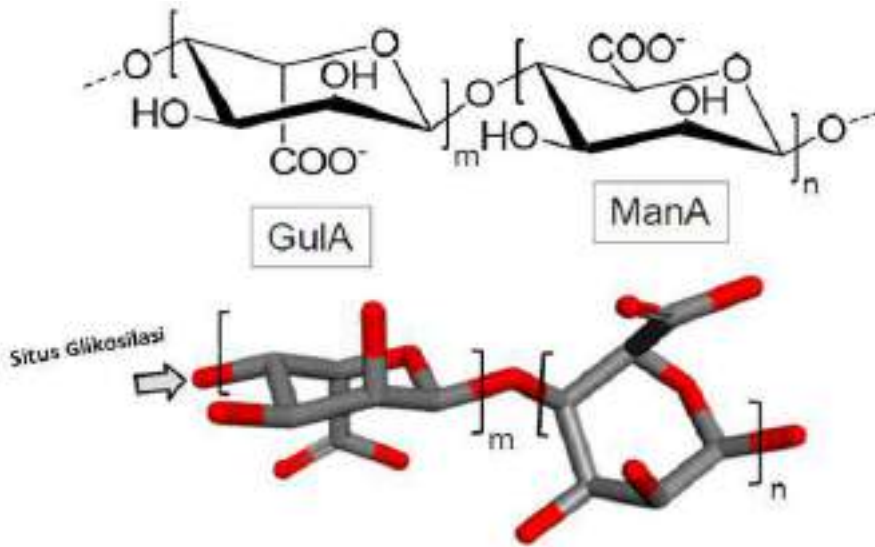
Tabel 19
Sumber rumput laut penghasil fukoidan dan berbagai bioaktivitas fukoidan (Handayani, 2014).

Rumput Laut Penghasil Fukoidan	Bioaktivitas Fukoidan
<i>Laminaria digitata</i>	Anti koagulan
<i>L. japonica</i>	Anti arteriosklerosis
<i>L. hyperborean</i>	Agen anti inflamatori
<i>Laminaria</i> sp	Antioksidan
<i>Fucus</i> sp	Menurunkan produksi interleukin (IL-1)
<i>Fucus vesiculosus</i>	Anti angiogenesis, anti proliferasi untuk menghambat atau mereduksi sel tumor
<i>Ascophylum nodosum</i>	Memberikan efek anti metastatik pada tikus
<i>Undaria pinnatifida</i>	
<i>Sargassum horneri</i>	
<i>S. vulgare</i>	
<i>Sargassum</i> sp	
<i>Eisenia bicylis</i>	
<i>Ecklonia kurome</i>	
<i>Padina gymnospora</i>	
<i>Padina</i> sp	
<i>Turbinaria</i> sp	

Alginat

Istilah algin atau alginat digunakan sebagai nama generik untuk garam dari asam alginat seperti sodium, potasium, ammonium, kalsium, dan propilen glikol alginat (Menon, 2012). Alginat dari rumput laut terdiri dari dua monomer, yaitu asam β -D-manuronat dan epimernya asam α -L-guluronat, yang tersusun dalam bentuk struktur blok-blok, yang dapat membentuk homopolimerik atau heteropolimerik. Dengan kata lain, alginat adalah suatu kopolimer linear dari D-manuronat (M) dan L-guluronat (G) yang tersusun dari blok homopolimer dan suatu blok heteropolimer M dan G. Nisbah dari D-manuronat (M) dan L-guluronat (G) dalam asam alginat berubah dengan jenis rumput laut, umur, porsi dari rumput laut yang digunakan dan lokasi (Menon, 2012). Struktur kimia alginat dapat dilihat pada Gambar 172.

Alginat dan turunannya seperti sodium alginat, kalsium alginat, potasium alginat dan ammonium alginat telah dinyatakan sebagai GRAS (aman) di Amerika ketika digunakan sebagai suatu penstabil atau *thickener*



Gambar 172. Struktur kimia alginat. Disusun dari unit blok α -L-guluronat (GulA) dan β -D-manuronat (ManA) (Diadaptasi dari: Vasconcelos & Pomin, 2018)

(FMC, 2001). Kemudian propilen glikol alginat (PGA) yang juga merupakan turunan alginat telah diakui sebagai suatu pangan aditif yang diatur dalam 21 CFR 172.858 (FMC, 2001). Dari sekian banyak turunan alginat, hanya PGA ini yang banyak digunakan dalam industri pangan (Bixler and Porse, 2010). PGA ini adalah diproses dengan suatu esterifikasi dari alginat dengan propilen oksida (Draget, 2000).

Alginat terdapat pada rumput laut coklat (*Phaeophyceae*) dan berperan sebagai komponen penguat pada dinding selnya. Kandungan alginat dalam rumput laut coklat sangat melimpah dapat mencapai 40 persen dari berat kering rumput laut (Draget *et al.*, 2005). Kandungan alginat dan komposisi penyusun alginat dari masing-masing rumput laut sangat beragam dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti spesies, daerah, dan iklim asal rumput laut, umur, bagian tanaman, dan kondisi lingkungan tempat rumput laut tumbuh (Jothisaraswathi *et al.*, 2006).

Sumber utama untuk industri alginat dunia adalah *Macrocystis pyrifera*. Beberapa spesies *Laminaria*, *Ascophyllum* dan *Sargassum* juga memiliki potensi yang besar sebagai sumber alginat (Belitz & Grosch, 2004). Menurut Draget *et al.*, (2005), alginat komersial diproduksi dari rumput laut *Laminaria hyperborea*, *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria digitata*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria japonica*, *Eclonia maxima*, *Lessonia nigrescens*, *Durvillea antarctica* dan *Sargassum* spp.

Rumput laut coklat penghasil alginat (alginofit) yang paling banyak penyebarannya di Perairan Indonesia adalah spesies dari marga *Sargassum* dan disusul dari marga *Turbinaria* (Yunizal, 2004). Menurut Kadi dan Atmadja (1988), ada banyak jenis *Sargassum* sebagai penghasil alginat seperti *Sargassum duplicatum*, *Sargassum histrix*, *Sargassum echinocarpum*, *S. gracilimum*, *S. binderi*, *S. polycystum*, *S. microphyllum*, *S. crassifolium*, *S.*

aquafolium, *S. vulgare*, dan *S. polyceratium*. Jenis rumput laut coklat penghasil alginat dan bioaktivitasnya disajikan pada Tabel 20.

Tabel 20.
Sumber rumput laut penghasil alginat dan berbagai bioaktivitas alginat (Handayani, 2014).

Rumput Laut Penghasil Alginat	Bioaktivitas Alginat
<i>Laminaria digitata</i>	Anti bakteri
<i>L. japonica</i>	Anti kanker
<i>L. hyperborean</i>	Agen obesitas
<i>Laminaria sp</i>	Membantu pembersihan sistem pencernaan dalam melindungi permukaan membran stomach dan usus dari potensi karsinogenik
<i>Fucus sp</i>	Efek anti hipertensi
<i>Fucus vesiculosus</i>	Agen pengabsorpsi hemostatik
<i>Ascophylum nodosum</i>	
<i>Undaria pinnatifida</i>	
<i>Sargassum horneri</i>	
<i>S. vulgare</i>	
<i>Sargassum sp</i>	
<i>Eisenia bicylis</i>	
<i>Ecklonia kurome</i>	

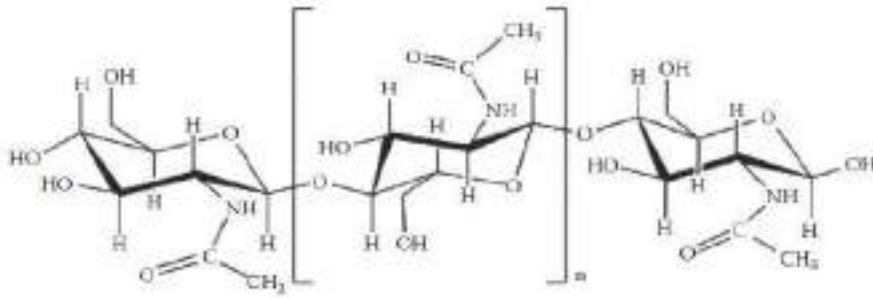
b. Polisakarida dari Hewan Laut

Polisakarida dari hewan laut, seperti udang dan kepiting, adalah senyawa kitin dan kitosan. Kitin dan kitosan ini banyak terdapat pada lapisan keras hewan tersebut, yaitu kulit atau cangkangnya. Secara hayati, polimer polisakarida ini disintesis sampai 1 milyar ton per tahun di dunia. Namun yang baru dimanfaatkan hanya sebagian kecil saja, walaupun manfaat keduanya di berbagai industri semakin dirasakan (Angka dan Suhartono, 2010).

Kitin dan Kitosan

Kandungan kitin kulit udang dapat mencapai 40-60 persen dari berat keringnya. Kitin yang diperoleh dari berbagai sumber memiliki struktur sama, kecuali ikatannya dengan protein dan kalsium karbonat yang merupakan dua komponen lain pada kulit udang. Kitin ini bersifat tidak larut di dalam air, basa, alkohol atau pelarut organik lainnya. Polisakarida kitin ini dapat larut di dalam larutan asam kuat seperti asam klorida pekat, asam sulfat pekat, asam fosfat atau asam format anhidrat (Angka dan Suhartono, 2010). Struktur kitin terdiri atas unit-unit berbentuk ortorombik, dan setiap sel dibangun oleh 8 (delapan) residu asetil glukosamin (monomernya). Struktur kimia kitin ditampilkan pada Gambar 173.

Kitosan merupakan produk dari proses deasetilasi kitin, yang memiliki sifat unik. Unit penyusun kitosan merupakan disakarida (1-4)-2-amino-2-deoksi- α -D-glukosa yang saling berikatan beta. Seperti halnya dengan

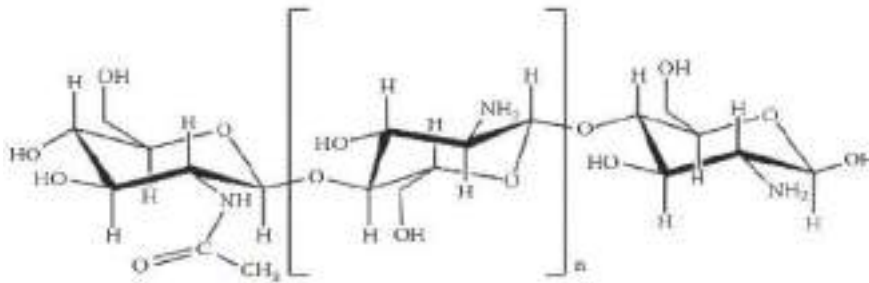


Gambar 173.
Struktur Kimia Kitin
(Muñoz *et al.*, 2012)

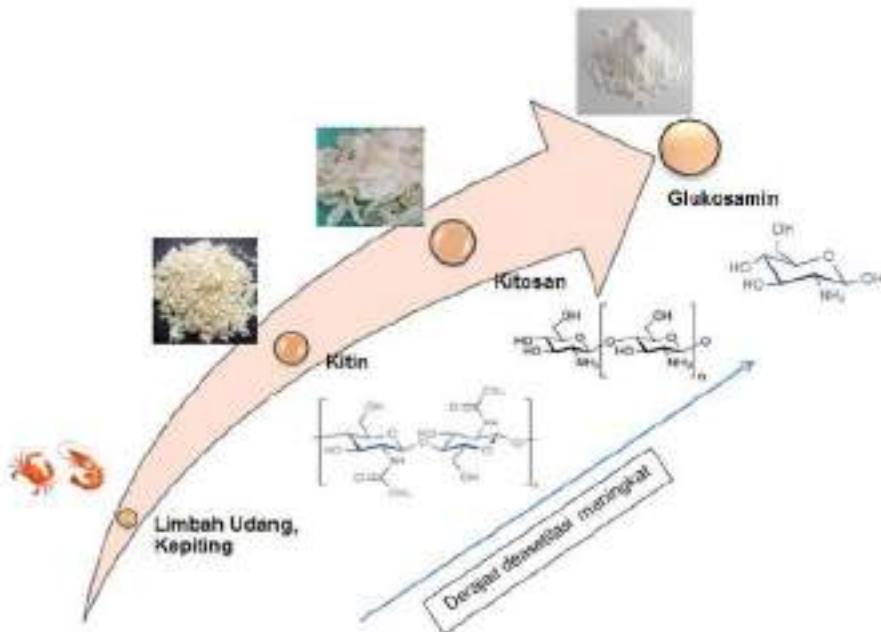
polisakarida lainnya, kitosan memiliki kerangka gula pada struktur kimianya, tetapi dengan sifat yang unik karena polimer ini memiliki gugus amina bermuatan positif (Angka dan Suhartono, 2010). Adapun struktur kimia dari kitosan dapat dilihat pada Gambar 174. Kemudian produk akhir (monomer) dari kitin dan kitosan adalah glukosamin (Barre & Bates; 2018) (Gambar 175).

c. Polisakarida Pati dari Mikrolaga

Selain rumput laut, dan hewan laut seperti udang dan kepiting, mikroalga juga dapat menghasilkan polisakarida. Kandungan polisakarida yang berasal



Gambar 174.
Struktur Kimia
Kitosan (Muñoz *et al.*, 2012)



Gambar 175.
Produksi
glukosamin dari
limbah udang
dan kepiting
(Diadaptasi dari:
Barre & Bates;
2018).

dari mikrolaga ini dapat mencapai 57 persen dari berat keringnya. Berbagai spesies mikroalga penghasil polisakarida dapat dilihat pada Tabel 21 (Ellis & Miller, 2016).

Tabel 21.
Kandungan Pati
dari berbagai
spesies mikroalga
(Ellis & Miller,
2016).

No	Spesies mikroalga	Kandungan Pati (% berat kering)
1	<i>Anabaena cylindricol</i>	30,0
2	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	26,0
3	<i>Chlorella vulgaris</i>	37,0
4	<i>Chlorococcum sp</i>	26,0
5	<i>Euglena gracilis</i>	18,0
6	<i>Nostoc sp</i>	30,7
7	<i>Oscillatoria obscura</i>	12,6
8	<i>Oscillatoria okeni</i>	8,1
9	<i>Oscillatoria sp</i>	19,3
10	<i>Phormidium angustissimum</i>	28,5
11	<i>Porphyridium cruentum</i>	57,0
12	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	7,3
13	<i>Scenedesmus acutus</i>	18,6
14	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	52,0
15	<i>Spirulina fusiformis</i>	37,3
16	<i>Spirulina platensis</i>	14,0

C. Asam Lemak dan Lipid

Secara umum, asam lemak dapat dibagi atas dua jenis yaitu, asam lemak jenuh (*saturated*) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated*). Asam lemak jenuh misalnya adalah asam laurat dan asam meristat, sedangkan yang termasuk ke dalam asam lemak tak jenuh adalah misalnya *Eikosapentaenoat (EPA)* dan *Dokosaheksaenoat (DHA)*. Untuk lebih lengkapnya pembagian dan jenis-jenis asam lemak dapat dilihat pada Tabel 22.

Jenis	ID Rantai	Nama Umum	Rantai Karbon	ID Omega
Asam Lemak Jenuh		<i>Asam laurat</i>	12:0	-
		<i>Asam meristat</i>	14:0	-
		<i>Monounsaturated fatty acid (MUFA)</i> <i>Asam Palmitat</i>	16:0	-
		<i>Asam stearat</i>	18:00	-
Asam Lemak Tak Jenuh		<i>Asam Palmitoleat</i>	16:1	ω-9
		<i>Asam Oleat</i>	18:1	ω-9
		<i>Asam Linoleat (LA)</i>	18:2	ω-9
		<i>Asam g-linolenat (g-LA)</i>	18:3	ω-6
Asam lemak tak Jenuh	<i>Polyunsaturated fatty acid (PUFA)</i>	<i>Dihomo g-linolenat</i>	20:3	ω-6
		<i>Asam Arakidonat (AA)</i>	20:4	ω-6
		<i>Asam α-Linolenat (ALA)</i>	18:3	ω-3
		<i>Asam Eikosapentaenoat (EPA)</i>	20:5	ω-3
		<i>Asam Dokosaheksaenoat (DHA)</i>	22:6	ω-3

7.6 Sumber-sumber Omega (3, 6 dan 9) dari Laut

Jenis-jenis asam omega-3 seperti yang digambarkan pada Tabel 22 adalah asam α-linolenat (ALA), asam Eikosapentaenoat yang dikenal dengan EPA, dan asam Dokosaheksaenoat yang dikenal dengan DHA; jenis-asam omega-6 adalah Asam g-linolenat yang dikenal dengan g-LA, asam Dihomo g-linolenat, dan asam Arakidonat yang dikenal dengan AA. Selanjutnya, jenis-jenis asam omega-9 adalah asam Palmitoleat, asam Oleat, dan asam Linoleat yang dikenal dengan LA. Asam omega-3 biasanya berasal dari sumber ikan (lemak minyak ikan), sedangkan sumber omega-6 dan omega-9 berasal dari berbagai tanaman yang dikonsumsi (Gambar 176).

Selain minyak ikan, minyak alga (minyak mikroalga) juga diketahui memiliki kandungan berbagai macam asam lemak, baik jenuh maupun tak jenuh. Secara umum, untuk kedua jenis asam lemak yang dibandingkan, yaitu antara asam lemak dari minyak ikan dan minyak alga diketahui sama-sama memiliki kandungan asam palmitat terlihat dalam konsentrasi yang paling tinggi. Namun, bila dibandingkan kandungan asam palmitat antara keduanya, terlihat bahwa minyak alga memiliki kandungan asam palmitat yang lebih tinggi daripada minyak ikan (Tabel 23). Kandungan asam palmitat yang tinggi ini juga dilaporkan oleh Noviendri *et al.*, (2011) pada dua jenis rumput laut coklat (*Sargassum binderi* dan *S. duplicatum*) (Tabel 24). Kemudian bila

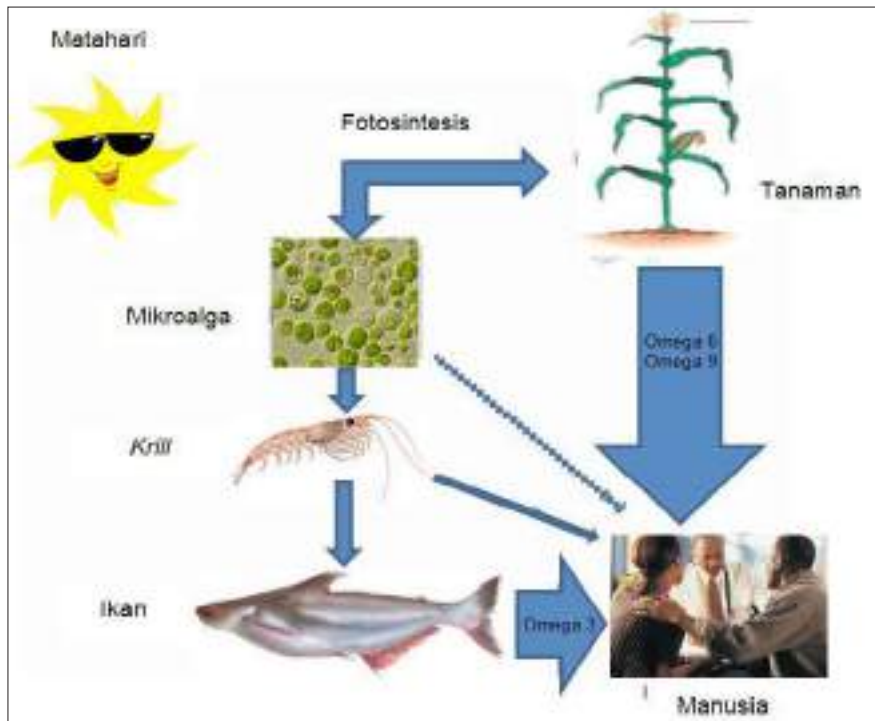
Tabel 22.
Asam Lemak Jenuh (*Saturated*) dan Tak jenuh (*Unsaturated*) (Barre & Bates, 2018).

dibandingkan antara minyak ikan dan minyak alga, maka minyak ikan merupakan sumber yang lebih baik untuk asam lemak EPA dan DHA.

Tabel 23.
Perbandingan
Asam Lemak
Minyak Ikan dan
Minyak Alga
(Rubio *et al.*, 2015).

Asam Lemak	Minyak Ikan (%)	Minyak Alga (%)
<i>Asam Laurat</i>	0,16	0,32
<i>Asam Miristat</i>	7,04	9,09
<i>Asam Palmitat</i>	17,33	22,86
<i>Asam Palmitoleat</i>	7,96	0,21
<i>Asam Stearat</i>	3,50	0,57
<i>Asam Oleat</i>	8,69	1,11
<i>Asam Linoleat</i>	1,26	0,46
<i>Asam Arakidonat</i>	0,20	0,00
<i>Asam g-Linoleat</i>	1,16	0,09
<i>Asam Behenat</i>	0,05	0,03
<i>Asam Arakidonat</i>	1,14	0,51
<i>Asam Eikosapentaenoat</i>	16,92	1,25
<i>Asam Dokosapentaenoat</i>	2,33	0,22
<i>Asam Dokosaheksaenoat</i>	13,44	2,41

Gambar 176.
Sumber-sumber
omega (mikroalga,
hewan dan
tanaman) (Adaptasi
dari: Rubio *et al.*,
2015).



Kandungan Asam Lemak (%)	Spesies Rumput Laut Coklat	
	<i>S. binderi</i>	<i>S. duplicatum</i>
<i>Asam laurat</i>	0,03	0,52
<i>Asam miristat</i>	4,94	3,09
<i>Asam palmitat</i>	25,09	24,88
<i>Asam palmitoleat</i>	4,42	5,02
<i>Asam Stearat</i>	0,89	0,72
<i>Asam oleat</i>	9,23	10,37
<i>Asam linoleat (LA)</i>	6,37	5,81
<i>Asam α-linolenat (ALA)</i>	4,38	5,35
<i>Asam stearidonat</i>	12,87	3,48
<i>Asam arakidat</i>	0,22	0,28
<i>Asam g-linolenat</i>	1,64	1,51
<i>Asam arakidonat (AA)</i>	9,13	13,64
<i>Asam eikosapentaenoat (EPA)</i>	1,82	2,55
<i>Asam dokosaheksaenoat (DHA)</i>	0,70	0,76

Tabel 24.
Kandungan Asam Lemak (%) dari Dua Jenis Rumput Laut Coklat (*Sargassum binderi* dan *S. duplicatum*) (Noviendri *et al.*, 2011).

7.7 Sumber Lipid dari Laut

Lipid merupakan polimer dari berbagai asam-asam lemak. Rumput laut dan mikrolaga banyak mengandung lipid. Kandungan lipid dari beberapa rumput laut coklat seperti *Sargassum duplicatum*, dan *S. binderi* telah dilaporkan oleh Noviendri *et al.*, (2011), serta rumput laut coklat *Padina australis* telah dilaporkan oleh Jaswir *et al.*, (2011). Adapun kandungan total lipid berturut-turut untuk rumput laut *Sargassum duplicatum*, *S. binderi* dan *Padina australis* adalah sebagai berikut: 16,60; 21,30 dan 10,70 mg/g berat kering.

Selain rumput laut, beberapa spesies mikroalga juga diketahui mengandung lipid dalam jumlah signifikan dan menghasilkan rendemen yang tinggi. Rata-rata kandungan lipidnya bisa mencapai 77 persen dari biomassa keringnya (Öz imen *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2012) (Tabel 25).

No	Spesies Mikroalga	Kandungan Lipid (% berat kering)
1	<i>Anabaena cylindrica</i>	4–7
2	<i>Botyococcus braunii</i>	25–80
3	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	21
4	<i>Chlorella emersonii</i>	28–32
5	<i>Chlorella protothecoides</i>	57.9

Tabel 25 (lanjutan).
Kandungan Lipid dari Beberapa Spesies Mikroalga (Wu *et al.*, 2012).

No	Spesies Mikroalga	Kandungan Lipid (% berat kering)
6	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	2
7	<i>Chlorella vulgaris</i>	14–22
8	<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
9	<i>Cylindrotheca</i> sp.	16–37
10	<i>Dunaliella bioculata</i>	8
11	<i>Dunaliella primolecta</i>	23
12	<i>Dunaliella salina</i>	6
13	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	35.6
14	<i>Euglena gracilis</i>	14–20
15	<i>Hormidium</i> sp.	38
16	<i>Isochrysis</i> sp.	25–33
17	<i>Monallanthus salina</i>	>20
18	<i>Nannochloris</i> sp.	30–50
19	<i>Nannochloropsis</i> sp.	31–68
20	<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
21	<i>Nitzschia</i> sp.	45–47
22	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
23	<i>Pleurochrysis carterae</i>	30–50
24	<i>Porphyridium cruentum</i>	9–14
25	<i>Prymnesium parvum</i>	22–38
26	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	16–40
27	<i>Scenedesmus obliquus</i>	12–14
28	<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77
29	<i>Spirogyra</i> sp.	11–21
30	<i>Spirulina maxima</i>	6–7
31	<i>Spirulina platensis</i>	4–9
32	<i>Synechococcus</i> sp.	11

No	Spesies Mikroalga	Kandungan Lipid (% berat kering)
33	<i>Tetraselmis maculata</i>	8
34	<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23

7.8 Pigmen dan Karotenoid dari Laut

Karotenoid adalah suatu kelompok senyawa *lipophilic* (tidak dapat larut dalam air, tapi dapat larut dalam minyak/ lipid), yang berkontribusi untuk warna kuning sampai merah dari berbagai makanan (Santos and Meireles, 2010). Karotenoid secara struktural dapat dibagi atas dua kelas utama, yaitu (1) Karoten yang secara eksklusif mengandung hidrokarbon (atom karbon dan hidrogen), contohnya α -karoten, β -karoten, dan likopen; dan (2) Santofil yang mengandung gugus hidroksi, karbometoksi, karboksi, keto, gugus epoksi atau lakton contohnya lutein, zeasantin, fukosantin dan astasantin (Kaczor *et al.*, 2016). Adapun beberapa struktur kimia terpilih dari beberapa karotenoid dapat dilihat pada Gambar 177.

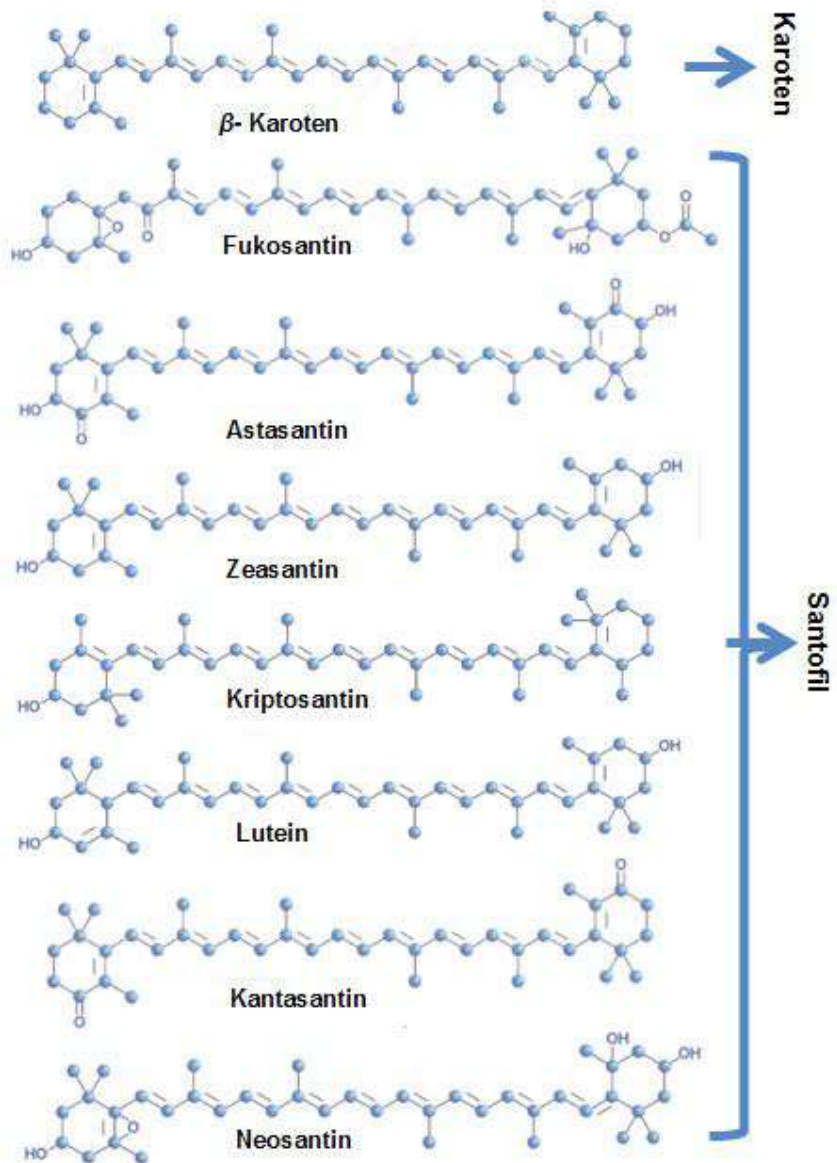
Senyawa karotenoid merupakan sumber dasar pigmen warna merah, oranye, dan kuning pada tanaman, kemudian terdistribusi secara luas di alam. Senyawa ini adalah suatu kelompok pigmen yang lebih dari 700 pigmen, terjadi secara alami yang dibiosintesis secara *de novo* oleh tanaman, alga, fungi dan bakteri (Sugawara *et al.*, 2009). Hewan tidak dapat memproduksi karotenoid, dan senyawa ini harus diperoleh dari sumber-sumber yang disebut di atas (Okada *et al.*, 2008).

a. Rumput Laut sebagai penghasil pigmen dan karotenoid

Beberapa pigmen dan karotenoid terpilih yang bahan bakunya berasal dari rumput laut adalah:

1. Fukosantin, karotenoid dari rumput laut coklat.
2. Sifonasantin, karotenoid dari rumput laut hijau.
3. Fikoeritrin pigmen dari rumput laut merah.

Gambar 177.
Struktur kimia
karotenoid
(karoten dan
santofil) bersumber
dari laut.



Fukosantin

Fukosantin merupakan senyawa karotenoid yang termasuk golongan santofil. Perbedaan utama antara fukosantin dengan senyawa karotenoid lainnya adalah kehadiran ikatan alenik, monoepoksida, dua gugus hidroksil, gugus karbonil, dan gugus asetil di ujung cincin fukosantin. Ikatan alenik bertanggung jawab terhadap aktivitas antioksidan dari fukosantin (Peng *et al.*, 2011; Fung, 2012).

Kandungan fukosantin dilaporkan bervariasi secara signifikan dengan musim dan siklus hidup rumput laut, memuncak antara musim dingin dan musim semi (fase dewasa sporofit) dan terendah selama musim panas (fase

penuaan) (Terasaki *et al.*, 2009). Fukosantin ini adalah salah satu pigmen dari golongan karotenoid santofil yang banyak diisolasi dari dihasilkan oleh RLC (Jaswir *et al.*, 2011a; 2011b; 2011c; 2012a; 2012b; 2013; Noviendri *et al.*, 2010; 2011). Fukosantin adalah santofil utama dalam RLC (Holdt, 2011) yang banyak ditemukan dalam lingkungan laut, mencakup sekitar 10% dari total produksi karoten di lautan (Peng *et al.*, 2011). Fukosantin ini diketahui memiliki aktivitas sebagai antioksidan, antiobesitas, antidiabetes, antiangiogenesis, antibakteri dan antikanker. Adapun sumber-sumber rumput laut penghasil fukosantin dan bioaktivitasnya sebagai antikanker (Noviendri, 2014)(Tabel 26). Kemudian berbagai foto rumput laut coklat penghasil fukosantin ditampilkan pada Gambar 178, dan proses purifikasi pigmen fukosantin ditampilkan pada Gambar 178.

Rumput Laut Penghasil Fukosantin	Bioaktivitas Fukosantin sebagai Efek Antikanker
<i>Alaria crassifolia</i>	kolon
<i>Analipus japonicus</i>	payudara
<i>Cladshipon okamuranus</i>	serviks
<i>Cystoseira hakodatensis</i>	paru-paru
<i>C. barbata</i>	hepatoma
<i>Eisenia bicyclis</i>	neoroblastoma
<i>Fucus distichus</i>	osteosarkoma
<i>F. evanescences</i>	leukemia
<i>F. vesiculosus</i>	prostat
<i>Hijk ia fusiformis</i>	
<i>Himanthalia elongate</i>	
<i>Hinck sia mitchellae</i>	
<i>Hormophysa triquetra</i>	
<i>Ishige okamurae</i>	
<i>Kjellmanielly c rassifolia</i>	
<i>Laminaria japonica</i>	
<i>L. ochtotensis</i>	
<i>Laminaria sp</i>	
<i>Leathesia diiformis</i>	
<i>Melanosiphon intestinalis</i>	
<i>Myagiopsis myagroide</i>	
<i>Padina australis</i>	
<i>P. tetrastrumatica</i>	
<i>Saccharina sculpera</i>	
<i>Sargassum confusum</i>	
<i>S. b inderi.</i> ,	
<i>S. duplicatum</i>	
<i>S. echinocarpu</i>	

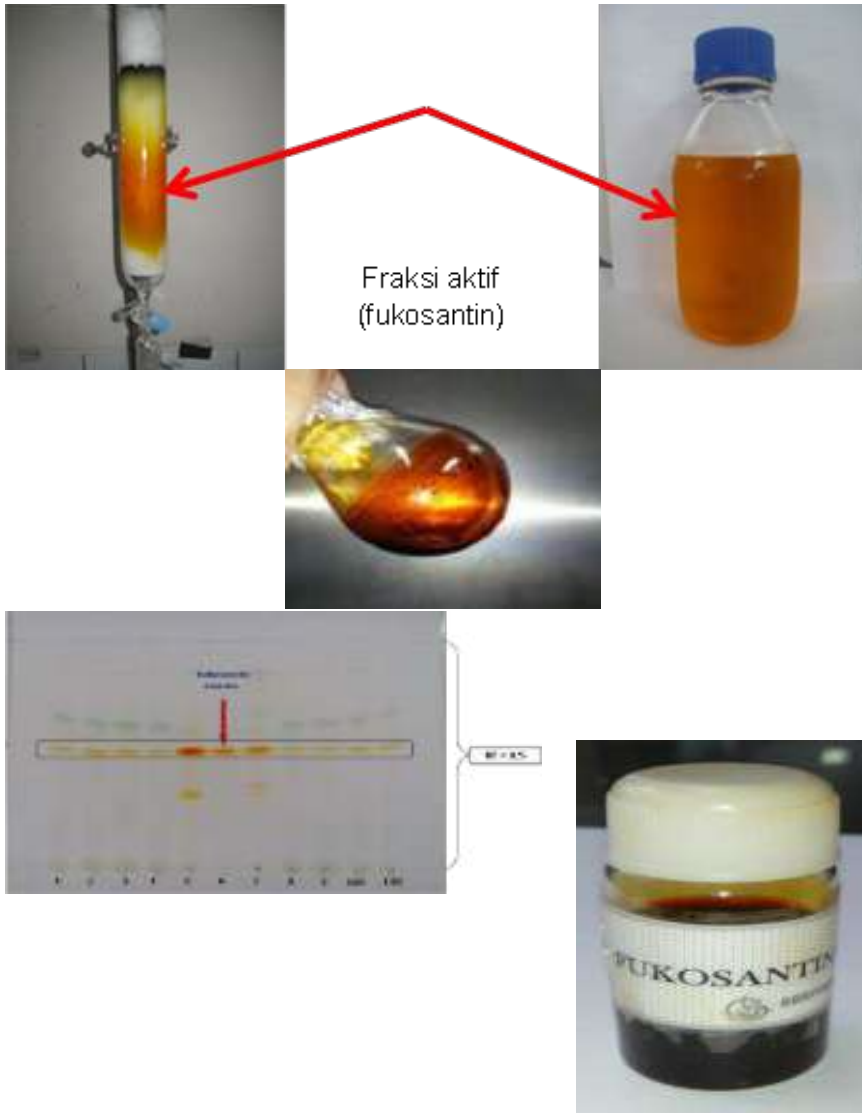
Tabel 26. Berbagai spesies rumput laut sebagai penghasil fukosantin dan bioaktivitasnya sebagai antikanker (Noviendri, 2014).

Tabel 26. (Lanjutan)
Berbagai spesies rumput laut sebagai penghasil fukosantin dan bioaktivitasnya sebagai antikanker (Noviendri, 2014).

Rumput Laut Penghasil Fukosantin	Bioaktivitas Fukosantin sebagai Efek Antikanker
<i>S. horneri</i>	
<i>S. ilic ifolium</i>	
<i>S. filipendula</i>	
<i>S. fulvellum</i>	
<i>S. fusiforme</i>	
<i>S. plagyophillum</i>	
<i>S. s iliquastrum</i>	
<i>S. thunbergii</i>	
<i>Silvetia babingtonii</i>	
<i>Turbinaria conoides</i>	
<i>T. decurens</i>	
<i>T. turbinata</i>	
<i>Undaria pinnatifida</i>	

Gambar 178. Berbagai foto rumput laut coklat penghasil fukosantin (Diadaptasi dari: Noviendri *et al*, 2017)





Gambar 179
Pigmen fukosantin
yang dihasilkannya
dari rumput laut
coklat (Diadaptasi dari:
Noviendri ., 2017)

Sifonasantin

Sifonasantin adalah senyawa keto-karotenoid khusus dari rumput laut hijau *siphonaceous*, yang dapat membantunya dalam menyerap cahaya hijau dan biru hijau yang tersedia di bawah air. Jenis rumput laut hijau sumber-sumber dari sifonasantin adalah *Halimeda* sp., *Caentomorpha* sp., *Codium fragile*, *Caulerpa* sp., dan *Umbraulva japonica*. Kemudian bioaktivitas dari sifonasantin ini adalah sebagai induksi apoptosis, antioksidan, antiangiogenesis, antiinflamatori, dan sebagai inhibitor lipogenesis pada hepatosit. Adapun berbagai foto rumput laut hijau penghasil sifonasantin ditampilkan pada Gambar 180. Kemudian proses esktraksi sifonasantin dari rumput laut hijau ditampilkan pada Gambar 181.



Gambar 180.
Berbagai rumput laut hijau penghasil sifonasantin
(Diadaptasi dari: Noviendri *et al*, 2016)



Gambar 181. Rumput laut hijau (*Halimeda* sp)
dan pigmen sifonasantin yang dihasilkannya
(Diadaptasi dari: Noviendri *et al*, 2016)

Fikoeritrin

Fikoeritrin adalah suatu fikobiliprotein, yang merupakan pigmen yang paling dominan pada rumput laut merah (RLM) dibandingkan pigmen yang lainnya. Dengan kata lain, fikoeritrin adalah pigmen fotosintetik utama dalam RLM. Berdasarkan daya serapannya, maka fikoeritrin ini dibagi atas tiga macam, yaitu B-fikoeritrin (B-PE), R-fikoeritrin (R-PE), dan C-fikoeritrin (C-PE).

Pigmen fikoeritrin ini memiliki berbagai sifat yang diantaranya adalah jenis pigmen yang larut air, merupakan suatu protein yang stabil, stabil pada pH antara 3,5-9,5, dan apabila pH melebihi nilai tersebut, maka pigmen fikoeritrin tidak akan menampilkan pigmen warna merahnya. Kemudian jenis rumput laut merah penghasil fikoeritrin adalah *Euchema* sp., *Gracilaria* sp., *Gelidium* sp., *Amphiroa anceps*, *Porphyra umbilicalis*, *Gracilaria corticata*, *Grateloupia turuturu*, *Polysiphonia urceolata*, *Heterosiphonia japonica*. Selanjutnya, pigmen fikoeritrin ini diketahui memiliki berbagai bioaktivitas yang diantaranya adalah sebagai antikanker, antifungi, antibakteri dan antioksidan. Adapun berbagai foto rumput laut penghasil fikoeritrin ditampilkan pada Gambar 182. Kemudian proses ekstraksi fikoeritrin dari rumput laut merah ditampilkan pada Gambar 183.

Gambar 182.
Beberapa rumput laut merah penghasil fikoeritrin (Diadaptasi dari: Noviendri, *et al.*, 2018).





Gambar 183. Rumput laut merah (*Halymenia* sp) dan pigmen fikokserin yang dihasilkan (Diadaptasi dari: Noviendri, *et al.*, 2018).

b. Mikroalga sebagai penghasil pigmen karotenoid

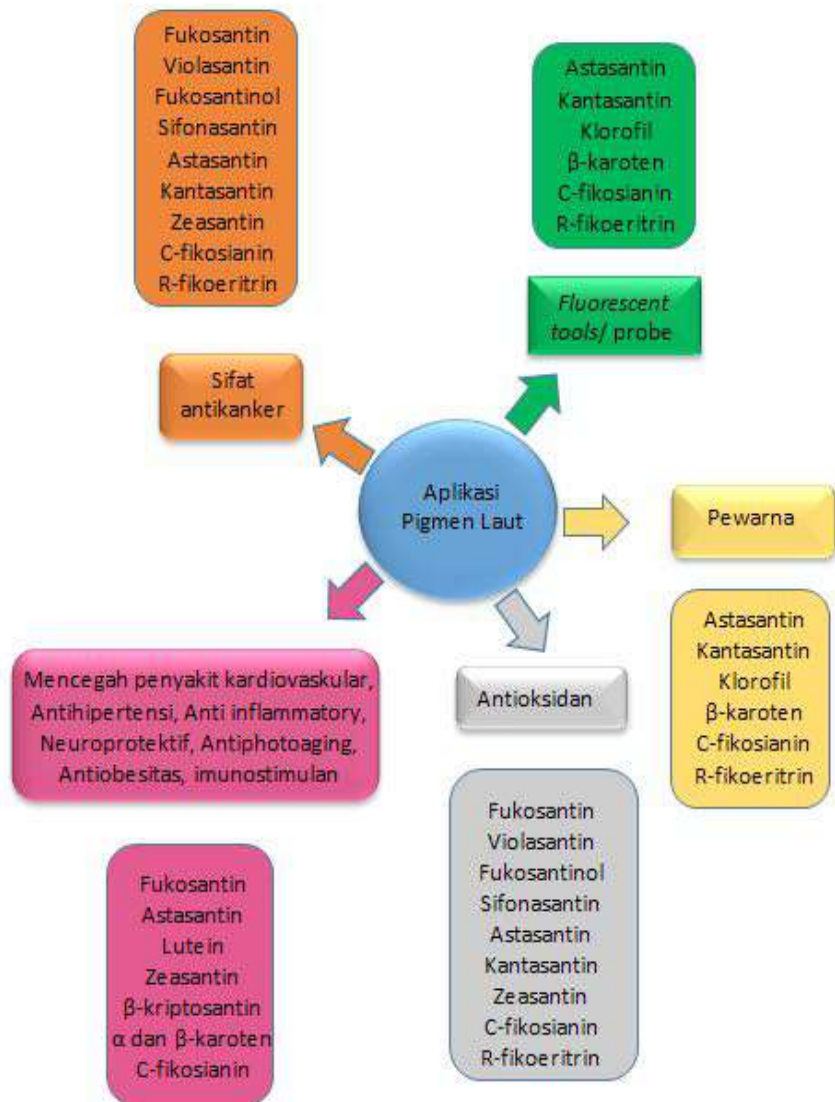
Selain rumput laut, mikrolaga juga diketahui banyak menghasilkan pigmen karotenoid dan pigmen-pigmen lainnya. Beberapa pigmen karotenoid yang terkenal yang dapat dihasilkan dari mikroalga secara industri adalah astasantin, β -karoten, kantasantin, lutein, dan fukosantin. Kemudian dari sekian banyak spesies mikroalga, maka *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina*, *Haloferax alexandrines*, *Chlorella protothecoides*, *Isochrysis galbama*, *Phaeodactylum tricornutum*, dan *Odontella aurita* sangat banyak diaplikasikan untuk memproduksi berbagai pigmen karotenoid tersebut di atas (Tabel 27).

Tabel 27.

Karotenoid yang dihasilkan dari mikroalga secara industri (Galasso *et al.*, 2017).

Karotenoid	Mikroalga	Aplikasi Industri	Perusahaan
Astasantin	<i>Haematococcus pluvialis</i>	Pewarna pakan ternak	Alga Technology (Israel)
		Nutrasetikal	Algaetech International (Malaysia)
		Farmastikal	Cyanotech (USA)
		Kosmetika	Jingzhou Natural Astaxanthin Inc. (China)
			Parry Nutraceutical (India)
			Mera Pharmaceuticals Inc. (USA)
			Fuji Chemicals (Swedia)
Valensa International (USA)			

Karotenoid	Mikroalga	Aplikasi Industri	Perusahaan
β -karoten	<i>Dunaliella salina</i>	Pewarna makanan dan minuman	AquaCarotene (USA)
		Zat tambahan pangan dan pakan	Cognis Nutrition & Health (Australia)
		Agen antioksidan	Cyanotech (USA)
β -karoten	<i>Dunaliella salina</i>	Immune stimulating	Nikken Sohonsa Corporation (Jepang)
		Antiaging	Tianjin Lantai Biotechnology (Cina)
		Pencegah penyakit kanker dan kardiovaskular	Parry Nutraceuticals (India)
			Seambiotic (Israel)
			Muradel (Australia)
Kantasantin	<i>Haloferax alexandrines</i>	Pewarna makanan dan minuman	Hangzhou Spring Biotechnology Co, Ltd (Cina)
		farmasetika	Xi'an Xi Sheng Bio-chem Co, Ltd. (Cina)
		Pewarna kulit ayam	Elitex Biological Technology (Australia)
		Pewarna kuning telur	Zipontchem Tech Co., Ltd. (Cina)
Lutein	<i>Chlorella protothecoides</i> <i>Scenedesmus almeriensis</i>	Farmasetika	Orcas International, Inc. (USA)
		Suplemen diet	A Clover Nutrition (Cina)
		Pangan	Reindeer Biotech (Cina)
		Makanan hewan	Ambe (India)
		Pakan ikan	Dynais (Perancis)
			YBS Corporation (Jepang)
Fukosantin	<i>Isochrysis galbana</i> <i>Phaeodactylum tricornutum</i> <i>Odontella aurita</i>	Nutrasetika	AlgaNova International (Cina)
		Kosmetika	Leili Naural Products Co., Ltd. (Cina)
		Farmasetika	
			Aaco Vege-tech Company (Cina)



Gambar 184:
Aplikasi Pigmen dari
Sumber Laut dan
Contohnya (diadaptasi
dari Serive & Bach
(2018).

c. Aplikasi Pigmen Karotenoid dari Sumber Laut

Ada banyak aplikasi pigmen karotenoid di dunia berdasarkan fungsi dan bioaktivitasnya yaitu sebagai antioksidan, bersifat antikanker, mencegah penyakit kardiovaskular, antihipertensi, antiinflamasi, antiobesitas, imunostimulan, sebagai pewarna dan sebagai probe. Tabel 27 di atas telah menjelaskan juga berbagai aplikasi dari pigmen karotenoid. Namun, untuk memudahkan pemahaman dalam melihat berbagai aplikasi pigmen karotenoid dari sumber laut, maka ditampilkan dalam bentuk pengelompokan menurut fungsi dan bioaktivitasnya.

7.9 Produk Komersial Utama dari Mikroalga dan Rumput Laut)

Produk-produk komersial yang berasal dari alga (mikroalga dan rumput laut) sudah banyak beredar di dunia, bahkan harganya sangat menjanjikan. Contoh produk komersial dari rumput laut misalnya Nori, Wakame, Kombu, alginat, karageenan, dan agar, sedangkan contoh produk komersial yang berasal dari mikroalga adalah pangan kesehatan dari Spirulina dan Chlorella, pakan ikan, pigmen fikobiliprotein, asam lemak DHA, EPA dan PUFA serta berbagai pigmen karotenoid komersial lainnya seperti β -karoten dan astasantin. Mengenai aplikasi, nilai pasar dan harga perkiraan di dunia dari produk komersial dari mikroalga dan rumput laut dapat dilihat pada Tabel 28.

Tabel 28.
Produk Komersial
Utama dari
Mikroalga dan
Rumput Laut
dan Nilai Pasar
(Griffiths *et al.*,
2016).

Produk	Spesies (Mikroalga/ Rumput Laut)	Aplikasi	Nilai Pasar (juta US\$)	Harga Perkiraan (US\$)
Nori	<i>Porphyra</i>	Pangan (Sushi)	2000	66-163/kg lembar
Wakame	<i>Undaria pinnatifida</i>	Pangan	600	169/kg kering
Kombu	<i>Laminaria japonica</i>	Pangan	600	50-200/ kg kering
Alginat	<i>Laminaria, Macrocystis dan Ascophyllum</i>	Thickening, gelling, water retention	230	3-190/kg
Karageenan	<i>Euchema cottonii, E. spinosum dan Chondrus crispus</i>	Gelling, thickening, stabilizing	100	5-140/ kg tepung
Agar	<i>Glacilaria, Gellidium dan Pterocladia</i>	Gelling; pangan dan bioteknologi	160	5-100/kg tepung
Pangan kesehatan	<i>Spirulina</i>	Nutrasetika	80	35/kg tepung, 68-112/ kg tablet
Pangan kesehatan	<i>Chlorella</i>	Nutrasetika	100	100-120/kg tablet
Fikobili- protein	<i>Arthrospira platensis</i>	Pewarna makanan, nutrasetika	2	370/kg (food grade), 5000/g (reagent grade)
Pakan akuakultur	<i>Isochrysis galbama, Phaeodactylum tricornutum</i>	Pakan	700	50-300/kg
β -karoten	<i>Dunaliella salina</i>	Pigmen, pakan, suplemen kesehatan	280	1400/kg
Astasantin	<i>Haematococcus pluvialis</i>	Pigmen, bahan tambahan pakan, suplemen kesehatan, farmasetika	150	2500/kg; 2000/kg (pakan); >100.000/kg (nutrasetika)
Asam lemak, DHA, EPA, PUFA	<i>Odontella aurita</i>	Makananan bayi, kosmetika, farmasetika	1530, 15 (DHA di USA)	650/kg

BAB VIII

Bioteknologi Biru

Dedi Noviendri

*Balai Besar Riset Pengolahan Produk Dan Bioteknologi
Kelautan dan Perikanan.*

Muhammad Nursid

*Balai Besar Riset Pengolahan Produk Dan Bioteknologi
Kelautan dan Perikanan*

Sitasi:

Noviendri D. & Nursid M. 2019. Bioteknologi Biru, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Bioteknologi Biru

Bioteknologi kelautan atau yang lebih dikenal dengan bioteknologi biru, secara ringkas dapat didefinisikan sebagai penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi terhadap organisme hidup dari sumber daya laut, serta bagian, produk, dan modelnya, untuk mengubah bahan hidup atau tidak hidup menjadi produk pengetahuan, barang dan jasa. Bioteknologi kelautan ini sering diidentikkan dengan "Bioteknologi Biru".

Bioteknologi kelautan merupakan proses pencarian dan pemanfaatan sumber daya hayati laut (*marine biodiversity*) dalam rangka meningkatkan kesejahteraan umat manusia tanpa merusak lingkungan. Bioteknologi kelautan ini tidak bisa berdiri sendiri tetapi bersifat multi-disiplin. Melalui bioteknologi, sektor kelautan diharapkan berkontribusi di masa depan untuk pengembangan ekonomi biru (*blue-economy*) sehingga bisa dikatakan bahwa bioteknologi laut merupakan teknologi kunci dalam pembangunan ekonomi biru (Gambar 185). Potensi bioteknologi kelautan untuk menghasilkan berbagai produk dan jasa kelautan diharapkan semakin berkontribusi terhadap pembangunan ekonomi kelautan. Dengan demikian, bioteknologi kelautan

Gambar 185.
Konsepsi kontribusi bioteknologi laut terhadap ekonomi biru (Diadaptasi dari: Hurst *et al.*, 2016).
Keterangan: SMEs = *Small and medium-sized enterprises*

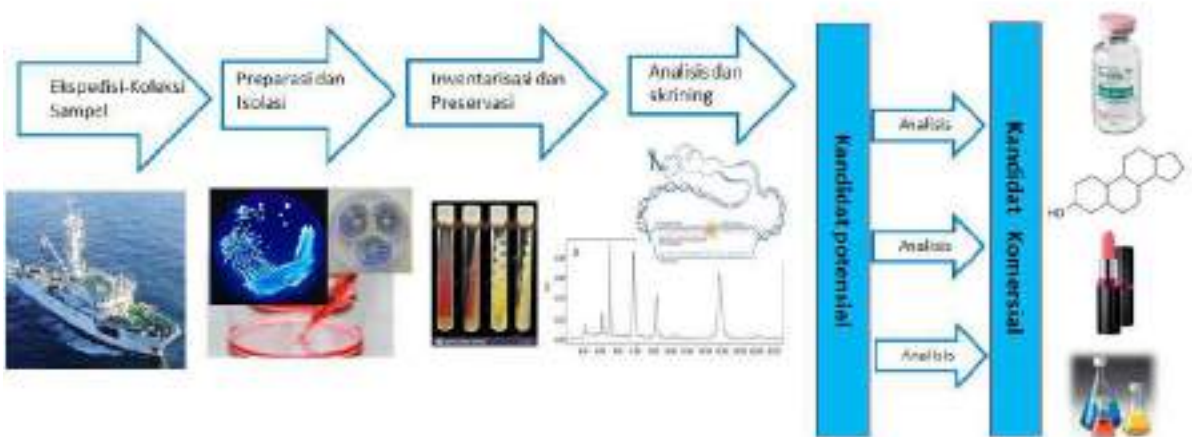


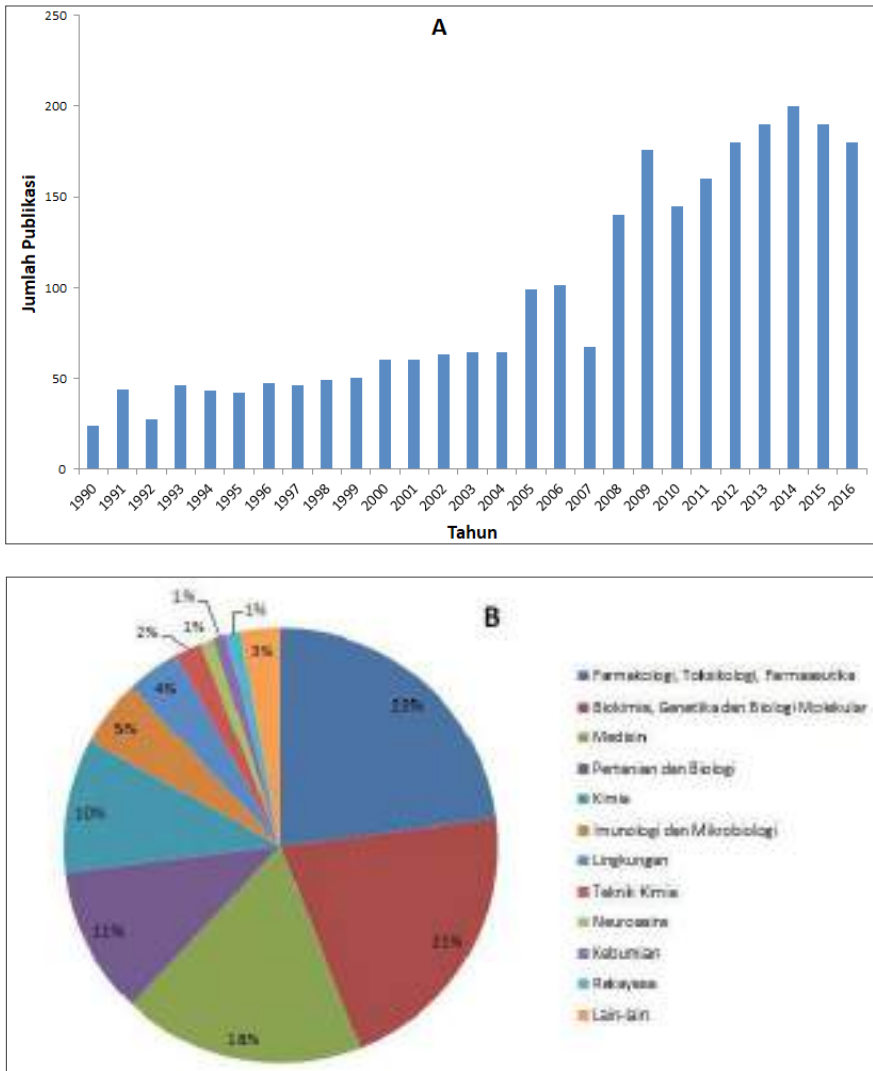
menyediakan peluang baru bagi industri untuk terus berkembang, merangsang pertumbuhan, dan menciptakan lapangan pekerjaan baru dengan memanfaatkan potensi biodiversitas organisme laut.

Aspek yang sangat penting dalam bioteknologi kelautan adalah bioprospeksi. Bioprospeksi sumberdaya hayati laut dilakukan untuk mencari sumber-sumber baru sebagai bahan ataupun *ingredient* produk-produk bernilai ekonomi penting seperti produk farmasi, kosmetika, biomaterial, bioremediasi, pangan fungsional, dan lain-lain. Proses tersebut diilustrasikan dalam Gambar 186.

Ekosistem laut adalah *reservoir* beragam senyawa bioaktif yang terkandung berbagai taksa organisme laut dan lingkungannya. Penelitian tentang senyawa bioaktif dari laut baru mulai banyak dilakukan pada tahun 1990-an, hal ini tercermin dari jumlah hasil penelitian yang mulai banyak dipublikasikan sekitar tahun 1990-an (Gambar 187 (A)). Sumber-sumber senyawa bioaktif dari laut adalah dari golongan invertebrata, mikroba, vertebrata dan tumbuhan laut. Target penelitian senyawa bioaktif yang paling banyak berasal dari bidang farmasi, biologi molekular, dan obat (Gambar 187(B)).

Gambar 186. Tahapan riset dan pengembangan dalam bidang bioteknologi kelautan (Diadaptasi dari: Day *et al.*, (2016) dengan beberapa modifikasi).





Gambar 187
Jumlah publikasi
*marine natural
products* tahun 1990
– 2016 (A), dan area
penelitian *marine
natural product* (B)
(Torres *et al.*, 2017).

Mengapa ekosistem laut menjadi *reservoir* beragama senyawa bioaktif? Jawabannya adalah karena ekosistem laut memiliki kondisi lingkungan yang unik sekaligus ekstrim ditandai dengan tingginya tekanan air, kadar garam, dan tingkat predasi yang tinggi diantara organisme yang ada di dalamnya. Tingginya tekanan dan kadar garam membuat organisme laut memiliki mekanisme regulasi fisiologis yang berbeda dengan organisme terestrial. Sementara tingkat predasi yang tinggi menstimulasi setiap organisme untuk mempertahankan diri, salah satunya adalah dengan cara menghasilkan suatu bahan kimia yang bersifat toksik untuk pertahanan dirinya dari pengaruh gangguan dari luar dirinya yang dikenal dengan *chemical defense*.



Gambar 188. Biodiversitas makhluk hidup di ekosistem laut merupakan sumber senyawa obat, enzim ataupun kosmetik dengan nilai komersial yang tinggi (diolah dari berbagai sumber).

Pertahanan kimia tersebut selanjutnya diketahui banyak yang memiliki potensi untuk diaplikasikan misalnya dalam bidang farmasi dan kosmetik. Konsep biodiversitas dan tekanan lingkungan yang tinggi dengan potensi penemuan bahan aktif baru disajikan dalam Gambar 188.

Selain sebagai sumber senyawa bioaktif, organisme laut terutama dari golongan tumbuhan laut seperti makroalga dan mikroalga juga berpotensi sebagai penghasil biofuel, biomaterial, biomassa, dan senyawa-senyawa bioaktif lain yang berharga seperti asam-asam lemak esensial, vitamin, nutrisi dan asam-asam amino.

8.1 Aplikasi Bioteknologi Pada Lingkungan Perairan Laut

8.1.1 Bioremediasi Tumpahan Minyak

Bioremediasi pada awalnya ditujukan untuk bioproses yang diaplikasikan pada lingkungan tanah saja. Tetapi sejak tahun 80-an, bioremediasi telah mulai dikembangkan untuk polutan-polutan organik yang pada saat itu tergolong tidak mudah terdegradasi. Aplikasi pada skala besar di lapangan kemudian banyak dilakukan pada kasus-kasus pencemaran akibat polusi minyak bumi (Fahrudin, 2010).

Bioremediasi adalah proses bioteknologi yang memanfaatkan makhluk hidup, khususnya mikroorganisme seperti bakteri dan jamur dalam bentuk konsorsium, untuk menurunkan konsentrasi atau daya racun suatu zat pencemar di lingkungan. Bioremediasi ini bertujuan untuk memecah atau mendegradasi polutan atau bahan pencemar menjadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun seperti karbondioksida dan air. Di dalam bioremediasi tumpahan minyak bumi digunakan metode biodegradasi (perombakan secara biologis melalui aktivitas mikroba), metode ini merupakan alternatif yang baik untuk pengolahan pencemaran lumpur minyak yang lebih ramah lingkungan. Hal ini dilakukan dengan usaha inokulasi mikroba pendegradasi minyak bumi, atau divariasikan dengan usaha tertentu, misalnya penambahan nutrisi yang merupakan faktor pembatas bagi mikroorganisme (Gambar 189), (Fahrudin, 2010).

Mikroorganisme, terutama bakteri yang dapat mendegradasi senyawa yang terdapat di dalam hidrokarbon minyak bumi disebut bakteri hidrokarbonoklastik. Bakteri hidrokarbonoklastik diantaranya adalah *Pseudomonas*, *Arthobacter*, *Alcaligenes*, *Brevibacterium*, *Brevibacillus*, dan *Bacillus*.

Fahrudin (2010), telah membagi beberapa teknologi yang digunakan dalam bioremediasi yaitu (1). *Biostimulasi*, (2). *Bioaugmentasi*, (3). *Biofilter*, (4). *Biorektor*, (5). *Bioslurry*, (6). *Bioventing*, (7). *Composting*, dan (8). *Landfarming*.

8.2 Aplikasi Bioteknologi Kelautan dalam Biorefineri, Biomassa, Biofuel dan Biodiesel

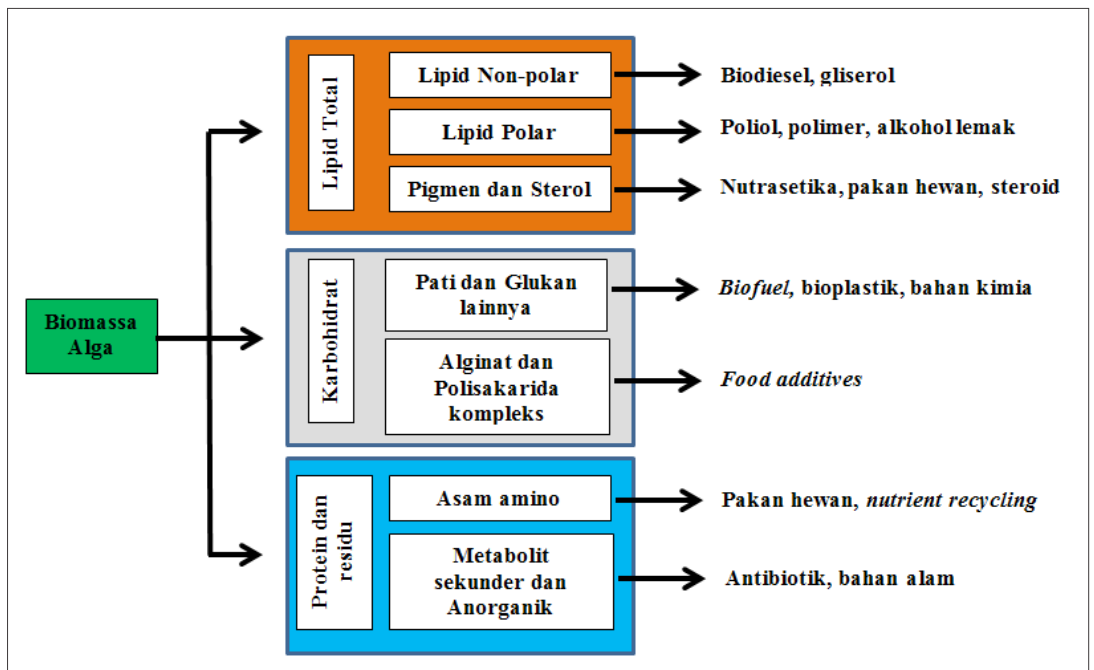
8.2.1 Biorefineri

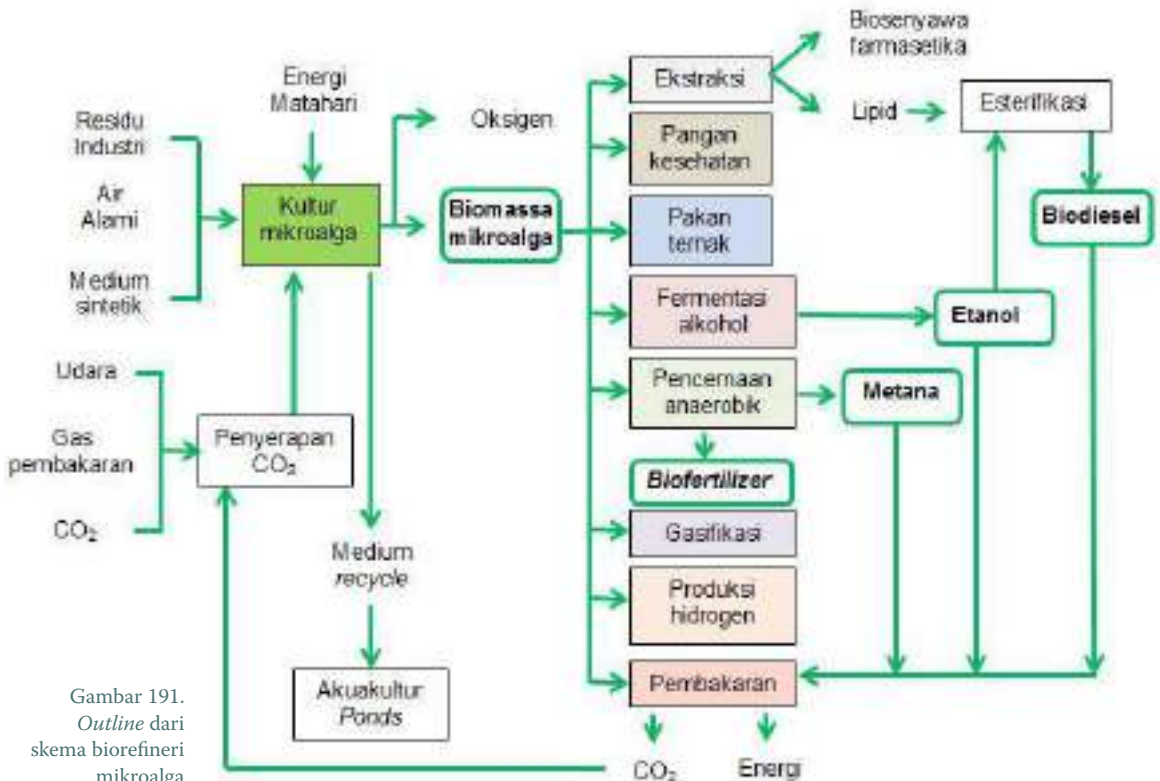
Biorefineri merupakan suatu proses konversi biomassa menjadi berbagai bioproduk dan bioenergi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia, seperti biodiesel, alkohol lemak, pakan hewan, dan berbagai produk lainnya dari hasil konversi biomassa makroalga menjadi lipid; biofuel, bioplastik, bahan tambahan pangan dan berbagai bahan kimia lainnya dari hasil konversi biomassa alga menjadi karbohidrat; serta pakan hewan, antibiotik dan bahan alam lainnya dari hasil konversi biomassa alga menjadi protein dan residunya (Gambar 190).



Gambar 189. Bioremediasi tumpahan minyak dengan konsorsium microorganism

Gambar 190. Biomassa makroalga Untuk Bioenergi dan Produksi Bioproduk dalam Konsep Biorefinery (Photo credit: D'Este, 2017).



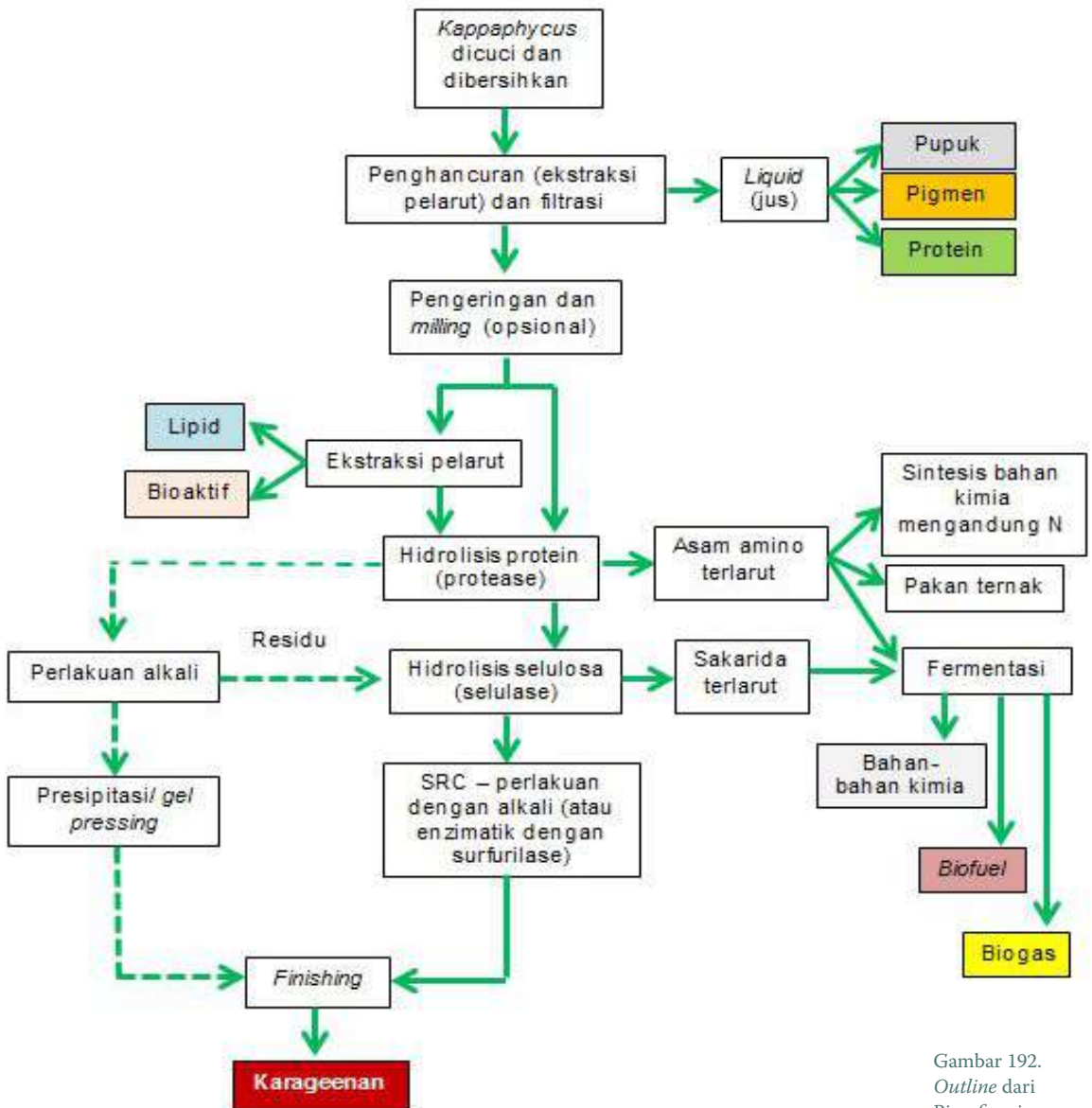


Gambar 191.
Outline dari
skema biorefineri
mikroalga
(Diadaptasi dari:
Almutairi, 2015).

Biorefineri ini bertujuan untuk menghasilkan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, serta ketersediaan yang berkelanjutan. Berdasarkan bahan bakunya sering digunakan istilah biorefineri generasi pertama, kedua, dan ketiga. Maksudnya, biorefineri generasi pertama digunakan untuk proses berbahan baku hasil pertanian (*crops*) yang kaya akan gula, pati dan minyak. Biorefineri generasi kedua dan ketiga masing-masing memanfaatkan bahan berbasis *lignoselulosa* dan limbah (Febriani, 2016). Secara umum produk biorefineri alga (mikroalga dan makroalga) hampir mirip, seperti produk pangan kesehatan, pakan ternak, pupuk, produk fermentasi (biofuel dan biogas) untuk rumput laut (Ortiz-Tena *et al.*, 2017), dan produk esterifikasi (biodiesel) untuk mikroalga (Almutairi, 2015)(Gambar 191 dan 192).

8.2.2 Biomassa

Biomassa adalah material yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tumbuh-tumbuhan, hewan, dan produk sampingnya seperti sampah kebun, hasil panen dan sebagainya. Tidak seperti sumber-sumber alamiah lainnya seperti petroleum, batubara, dan bahan bakar nuklir, biomassa adalah sumber energi terbarukan (dapat diperbaharui) yang berbasis pada siklus karbon. Biomassa bisa digunakan secara langsung maupun tidak langsung sebagai bahan bakar.



Gambar 192. Outline dari Biorefineri makroalga *Kappaphycus*. Garis putus-putus mengindikasikan lintasan untuk produksi produk refine carrageenan yang disukai (Diadaptasi dari: Ortiz-Tena *et al.*, 2017)

Selain penggunaan secara langsung sebagai bahan bakar padat, biomassa dapat diolah menjadi berbagai jenis biofuel cair dan gas (untuk rumput laut atau makroalga), dan biodiesel (untuk mikroalga). Biomassa ini bersifat terbarukan dan dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori utama (D'Este, 2017), yaitu pertanian, kehutanan, domestik dan residu organik industri, dan akuatik (mikroalga dan rumput laut) (Gambar 193). Kemudian di dalam konversi biomassa menjadi suatu produk dapat melalui dua cara, yaitu (1). Konversi biomassa secara biokimia dengan menghasilkan produk berupa bioalkohol, biodiesel dan biogas, dan (2). Konversi biomassa secara termokimia

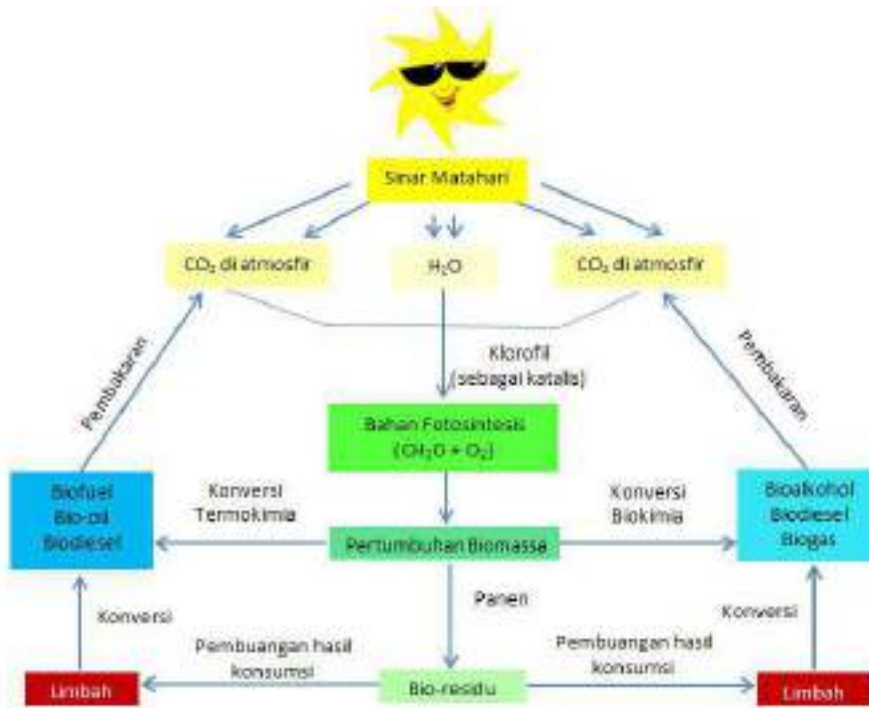
Gambar 193.
Klasifikasi
biomassa dalam
empat kategori
utama



dengan menghasilkan produk berupa biofuel, biodiesel, dan bio-oil. Hasil dari pembakaran ke semua produk hasil konversi biomassa akan menghasilkan gas CO_2 dan akan dibuang ke atmosfer, selanjutnya gas CO_2 ini nantinya dengan adanya air dan bantuan sinar matahari serta zat hijau daun klorofil akan menghasilkan biomassa kembali dalam proses yang dinamakan fotosintesis (Gambar 194).

8.2.3 Biofuel

Biofuel atau bahan bakar hayati adalah setiap bahan bakar, baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari biomassa bahan-bahan organik. Biofuel ini dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman, atau tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian. Biofuel dapat secara luas didefinisikan sebagai padatan, cairan atau gas bakar yang mengandung atau diturunkan dari biomassa. Definisi yang lebih sempit mendefinisikan biofuel sebagai cairan atau gas yang berfungsi sebagai bahan bakar transportasi yang berasal dari biomassa. Penggunaan minyak nabati atau bahan bakar nabati (BBN) sebagai bahan biofuel sebenarnya sudah dimulai pada tahun 1895 saat Dr. Rudolf Christian Karl Diesel mengembangkan mesin motor yang dijalankan dengan BBN.



Gambar 194.
Tahap Utama
Teknologi Biomassa

Secara umum, biofuel ini dibagi menjadi dua tipe yaitu biofuel primer dan biofuel sekunder. Biofuel primer ini disebut juga dengan biofuel alami yang bahan bakunya berasal dari kayu bakar, serpihan kayu, hutan, limbah hewan, dan sisa tanaman. Kemudian biofuel primer dibagi lagi menjadi tiga generasi, yaitu generasi kesatu, generasi kedua dan generasi ketiga. Jadi hal yang membedakan ketiga generasi ini adalah sumber bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan produk (Sheetal & Mahesh, 2015). Sekarang ini, generasi yang berkembang adalah generasi ketiga dengan menggunakan bahan bakunya dari sumber laut seperti mikroalga dan rumput laut untuk menghasilkan produk turunan biofuelnya yaitu biodiesel (Gambar 195).

Bila dibandingkan antara produk petroleum yang banyak digunakan sekarang dengan ketiga generasi *biofuel*, semakin besar tingkat generasinya (dalam hal ini biofuel generasi ke-3), maka semakin banyak keuntungannya. Adapun beberapa keuntungan dari biofuel generasi ke-3 adalah: (1). produknya ramah lingkungan, (2). bahan bakunya tidak berkompetisi dengan pangan dan tidak memerlukan lahan pertanian, (3). produktivitas minyak sangat tinggi bila dibandingkan dengan biomassa lain, (4). alga paling menjanjikan sebagai sumber non pangan untuk biofuel, (5). alga mempunyai struktur selular sederhana, (6). laju reproduksi cepat, (7). komposisi kaya lipid (40-80



Gambar 195. Sumber produksi dan tipe biofuel (Sheetal & Mahesh, 2015)

Tabel 29. Perbandingan Produk Petroleum dengan Biofuel dari Ketiga Generasi (Suganya *et al.*, 2016)

persen berat kering), (8). Alga dapat tumbuh dalam kondisi keras dan air garam, (9). biofuel alga tidak mengandung sulfur, dan (10). tidak toksik dan biodegradabel (Suganya *et al.*, 2016)(Tabel 29).

	Produk Petroleum	Generasi Ke-1	Generasi Ke-2	Generasi Ke-3
Teknologi	Pemurnian Minyak	Fermentasi mikrobial, kimia dan transesterifikasi enzimatik	Pretreatment, hidrolisis dan fermentasi, transesterifikasi	Rekayasa metabolik untuk sintesis langsung, fraksinasi dari biomassa alga

Bahan Baku	Petroleum Kasar	Minyak sayur dan bahan gula jagung	Non pangan, murah dan biomassa limbah tanaman yang berlimpah (residu pertanian dan kehutanan dll)	Alga
Produk-produk	Diesel, petrol, kerosin dan minyak jet	Biodiesel, etanol jagung, alcohol gula	Hidrotreating oil, bio oil, etanol lignoselulosa, butanol dan campuran alkohol	Biodiesel, bioetanol, biohidrogen, biometana
Kelebihan	Densitas energi tinggi	Ramah lingkungan Aman secara sosek	Ramah lingkungan, Tidak berkompetisi dengan pangan Teknologi lanjutan masih dalam pengembangan untuk mereduksi biaya	Ramah lingkungan, Tidak berkompetisi dengan pangan dan tanah pertanian, Produktivitas minyak sangat tinggi bila dibandingkan dengan biomassa lain, Alga paling menjanjikan sebagai sumber non pangan untuk biofuel, Alga mempunyai struktur selular sederhana, Laju reproduksi cepat, Komposisi kaya lipid (40-80% berat kering), Alga dapat tumbuh dalam kondisi keras dan air garam, Biofuel alga tidak mengandung sulfur, tidak toksik dan biodegradabel
Kekurangan	Deplesi Menurunnya cadangan minyak bumi Polusi lingkungan Masalah ekonomi dan ekologi	Bahan baku terbatas Kompetisi pangan dan minyak Sebagian dicampur dengan minyak konvensional	Perlu tanah pertanian Prosesnya kompleks	Rendemen produk rendah pada skala besar Produksi biomassa kurang

Kemudian bila dilihat tahapan untuk produksi biofuel generasi ke-3, yaitu biofuel yang berbahan baku mikroalga dan rumput laut, ada terdapat empat perbedaan mendasar, yaitu tahapan kultivasinya berbeda, cara panennya berbeda, proses pengolahannya berbeda dan proses konversinya ke biofuel juga berbeda. Keempat perbedaan tahapan produksi biofuel tersebut dapat dilihat pada Tabel 30.

Tabel 30.
Ikhtisar Proses dan tahap untuk produksi biofuel dari mikro dan makroalga (Mohan *et al.*, 2017).

No	Tahap Proses	Mikroalga	Makroalga (Rumput Laut)
1	Kultivasi	Kultivasi (Fotobioreaktor, open ponds)	Stok alami, kultivasi bahan melayang (<i>near-shore systems, off-shore systems, open ponds</i>)
2	Panen	Flokulasi, flotasi, sedimentasi, sentrifugasi, filtrasi	Manual
3	Pengeringan & Pengolahan atau <i>De-watering/Pre treatment</i>	Dewatering, drying	<i>Cleaning/washing, crushing, maserasi</i>
4	Konversi ke biofuel	Proses biokimia: <i>Anaerobic digestion, fermentasi</i> Proses termokimia: Gasifikasi, hydrothermal liquefaction, pyrolysis, pembakaran langsung, transesterifikasi dan produksi biodiesel	Proses biokimia: <i>Anaerobic digestion, fermentasi</i>

8.2.4 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar turunan dari biofuel yang dihasilkan dari bahan baku berbeda-beda seperti tanaman yang berbasis minyak, atau lemak hewan (Vidyashere *et al.*, 2016), serta alga (mikroalga dan makroalga) (Suganya *et al.*, 2016). Berbagai riset tentang biodiesel telah banyak dilakukan oleh negara-negara di seluruh dunia, seperti di Indonesia, Malaysia, Brazil, USA, Perancis, India, dan lainnya. Bahan baku utamanya antara lain minyak sawit mentah, minyak biji bunga matahari, minyak kedelai, minyak rapeseed, dan minyak sayur (Owalabi *et al.*, 2012).

Pada awal-awal pengembangan biodiesel sumber bahan bakunya masih banyak berasal dari sumber teresterial (Tabel 21). Namun, sekarang ini sudah banyak beralih kepada sumber laut, diantaranya mikroalga (Topare *et al.*, 2011). Untuk perbandingan kandungan dan rendemen minyak serta produktivitas biodiesel untuk berbagai sumber bahan baku biodiesel lainnya dengan mikroalga dapat dilihat pada Tabel 22.

No	Negara	Sumber Biodiesel
1	Australia	Lemak hewan, minyak rapeseed
2	Brazil	Minyak kedelai
3	Cina	Guang pi
4	Gana	Minyak sawit, minyak kelapa
4	Indonesia	Minyak sawit
5	India	Jatropha
6	Italia	Minyak bunga matahari
7	Jerman	Minyak rapeseed
8	Kanada	Minyak sayur, lemak hewan
9	Malaysia	Minyak sawit
10	Perancis	Minyak bunga matahari
11	Spanyol	Minyak zaitun
12	USA	Minyak kedelai

Tabel 31.
Produksi biodiesel pada berbagai negara (Bajpai & Tyagi, 2006; Owalabi *et al.*, 2012).

Tabel 32.
Perbandingan Mikroalga dengan Bahan Baku Biodiesel Lainnya (Takisawa *et al.*, 2014).

Bahan Baku Minyak	Kandungan Minyak (% berat kering biomassa)	Rendemen Minyak (m ² /tahun/L biodiesel)	Produktivitas Biodiesel (L biodiesel / ha/ tahun)
Mikroalga	70	136.900	142.475
Jagung (<i>Zea mays L</i>)	44	172	179
Hemp (<i>Cannabis sativa L</i>)	33	363	378
Kedelai (<i>Glycine max L</i>)	18	636	661
Jatropha (<i>Jatropha carcass L</i>)	28	741	772
Camelina (<i>Camelina sativa L</i>)	42	915	952
Kanola (<i>Brassica napus L</i>)	41	974	1014
Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus L</i>)	40	1070	1113
Minyak Sawit (<i>Elaeis guineensis</i>)	36	5366	5585

Spesies mikroalga banyak digunakan untuk produksi biodiesel dikarenakan memiliki banyak keuntungan dibandingkan bahan baku yang lainnya. Mikroalga terlihat menjanjikan dan memiliki banyak keutamaannya sebagai bahan baku biodiesel dikarenakan (Shalaby, 2011) beberapa hal, yaitu:

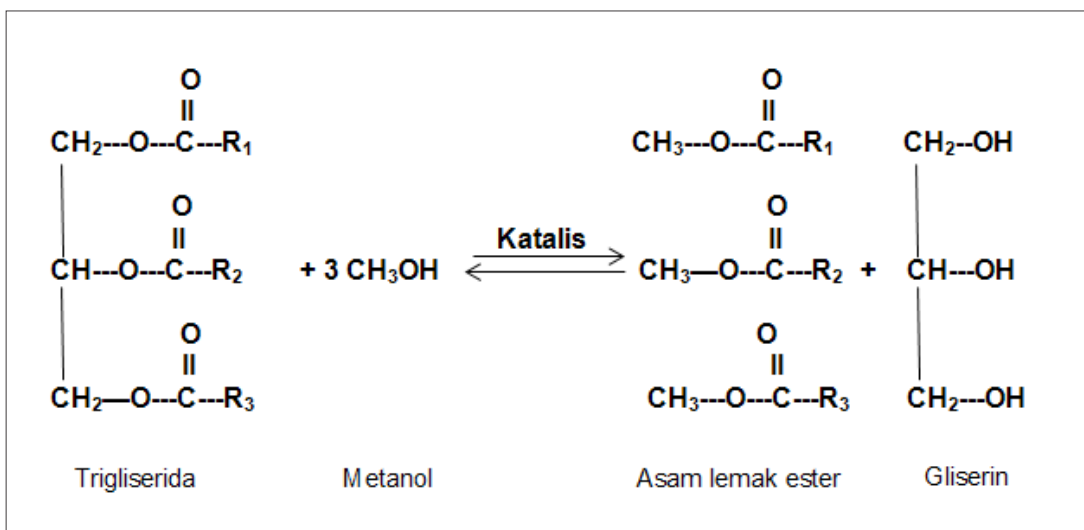
1. Mempunyai laju pertumbuhan yang cepat, misalnya waktu penggandaan dalam 24 jam.
2. Mempunyai struktur selular yang sederhana.
3. Kandungan lipid dapat ditentukan melalui perubahan komposisi media pertumbuhan.

4. Komposisi kaya lipid (40-80 persen berat kering)
5. Dapat dipanen lebih satu kali dalam satu tahun.
6. Air limbah atau asinnya dapat digunakan.
7. Karbondioksida di atmosfer adalah sumber karbon dari pertumbuhan mikroalga. Dengan kata lain, dapat mereduksi emisi karbon.
8. Biodiesel dari lipid mikroalga tidak mengandung sulfur, non-toksik dan sangat *biodegradabel*.
9. Mikroalga menghasilkan 15-300 kali lebih banyak minyak untuk produksi biodiesel bila dibandingkan sumber lainnya.

Biodiesel dapat digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi. Biodiesel ini dibuat dengan berbagai metode, seperti metode mikroemulsi, pirolisis, dan metode transesterifikasi. Transesterifikasi merupakan metode atau teknik yang paling banyak digunakan untuk mengkonversi lemak dan minyak menjadi biodiesel. Transesterifikasi adalah salah satu teknik pembuatan biodiesel yang paling populer dewasa ini karena aman, murah, dan mudah dilakukan. Proses transesterifikasi dikatalisis oleh katalis homogen maupun heterogen (Atadashi *et al.*, 2011). Proses transesterifikasi dapat menghasilkan rendemen yang lebih baik jika reaksi dilangsungkan pada membran reaktor. Reaksi transesterifikasi terdiri dari perubahan trigliserida menjadi asam lemak alkil ester dalam keberadaan suatu alkohol seperti metanol, dan dikatalisis oleh suatu asam atau basa dengan gliserin atau gliserol sebagai suatu produknya (Gambar 196) (Vasudevan & Briggs, 2008).

Gambar 196
Transesterifikasi
dari triasilgliserol
ke rendemen
asam lemak metil
ester (biodiesel)
(Diadaptasi dari:
Kasa & Gebrewold,
2017).

Ada berbagai macam sifat fisik biodiesel komersial, di antaranya adalah penampakan fisiknya berupa cairan terang ke kuning tua atau cairan bening (Gambar 197). Selain itu, sifat fisik dari biodiesel komersial adalah bersifat *biodegradabel* (lebih *biodegradabel* dari minyak diesel), reaktivitas stabil, tidak larut dalam air dan lainnya (Tabel 33).





Gambar 197.
Penampakan Fisik
Biodiesel Komersial

Nama Umum	Biodiesel
Nama Kimia Umum	Asam Lemak (m)etil ester
Rentang Rumus Kimia	C14-24 metil ester atau C15-25H28-48O2
Rentang Viskositas Kinematik (mm ² /s, pada 313 K)	3,3-5,2
Rentang Densitas (kg/m ³ pada 288 K)	860-894
Rentang Titih Didih (K)	> 457
Rentang Titik Nyala (K)	420-450
Rentang Distilasi (K)	470-600
Tekanan Uap (mm Hg, pada 295 K)	< 5
Kelarutan dalam Air	Tidak Larut Air
Penampakan Fisik	Terang ke Kuning tua, cairan bening
Bau	Apak/ bau sabun
Biodegradabilitas	Lebih biodegradabel dari minyak diesel
Reaktivitas	Stabil, tapi hindari bahan oksidator kuat

Tabel 33. Sifat-sifat Fisik Biodiesel (Sheetal & Mahesh, 2015; Yusuf *et al.*, 2011)

8.3 Pengembangan dan Aplikasi Produk Laut

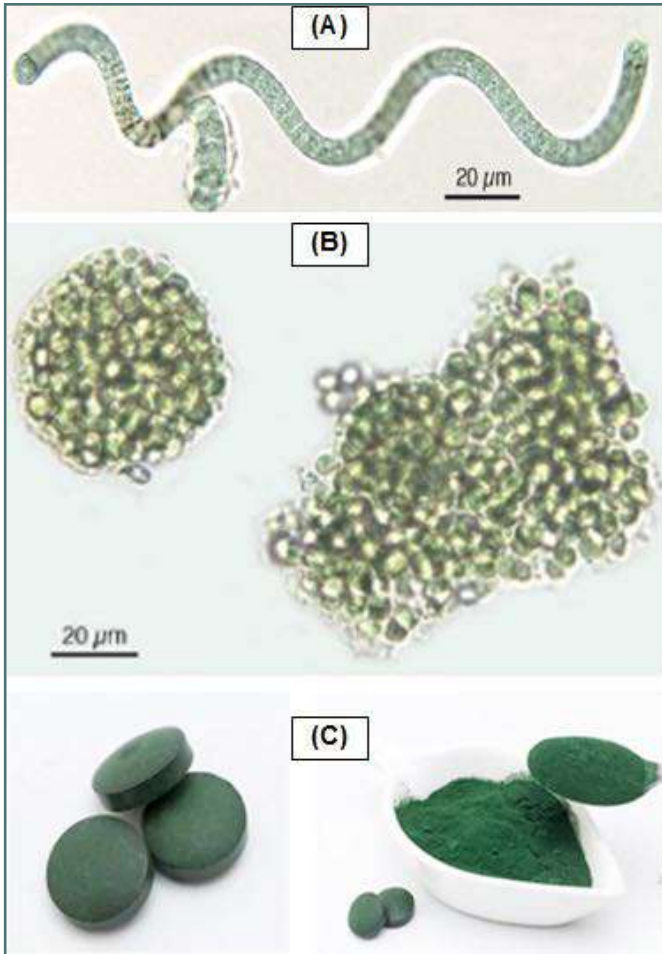
8.3.1 Herbal dan Nutrasetikal

Tabel 34.
Berbagai produk komersial dari mikroalga yang telah dikembangkan oleh berbagai perusahaan di dunia

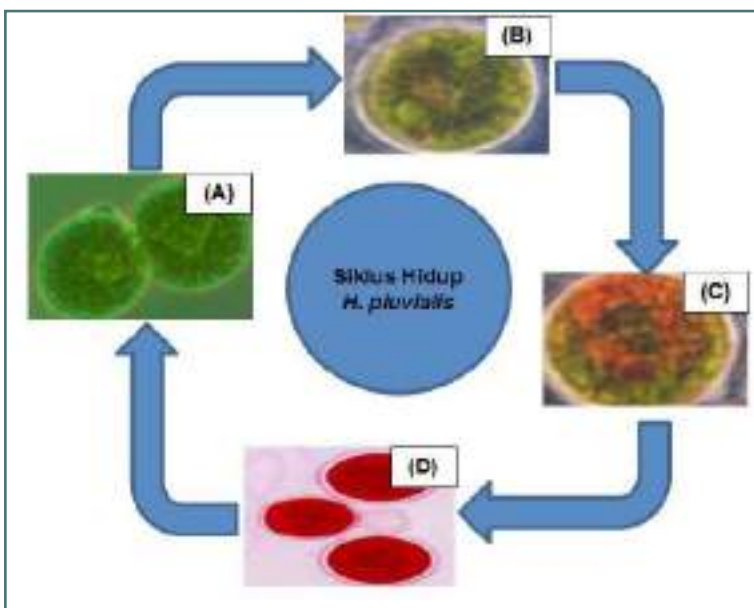
Sampai sekarang sudah banyak beredar produk-produk aplikasi dari sumber laut seperti mikroalga, berupa produk asam lemak DHA, EPA, karbohidrat, vitamin B-12 dan berbagai pigmen seperti astasantin, fikosianin, alofikosianin dan lainnya (Tabel 34).

Jenis Mikroalga	Produk	Aktivitas	Perusahaan
<i>Crythecodinium</i> sp.	Asam Dokosaheksaenoat (DHA)	Pengembangan otak	Martek/ Omegatec (USA)
<i>Ulkenia</i> sp.	DHA	Perlakuan otak, hati dan kelainan mental	Nutrinova/Celanase (Jerman)
<i>Haematococcus</i> sp.	Astasantin	Treating carpal tunnel syndrome	Cyanote Corporation (USA)
<i>Haematococcus</i> sp.	Astasantin	Anti inflamasi	Mera Pharmaceutical Inc., (USA)
<i>Chlorella</i> sp.	Karbohidrat	Sistem imun	Ocean Nutrition (Kanada)
<i>Odontella</i> sp.	Asam Eikosapentaenoat (EPA)	Anti inflamasi	InnovalG (Perancis)
<i>Spirulina</i> sp.	Vitamin B12	Sistem imun	Panmol/Madaus (Austria)
<i>Spirulina</i> sp.	Fikosianin	Pigmen	Parry Nutraceuticals Ltd., (India)
<i>Spirulina</i> sp.	Fikosianin	Pigmen	Hash Biotech Labs Pvt. Ltd., Punjab. (India)
<i>Spirulina</i> sp.	Alofikosianin	Pewarna pangan	Hash Biotech Labs Pvt. Ltd., Punjab. (India)

Dalam pengembangan dan aplikasi produk laut sebagai produk herbal dan nutrasetikal, maka ada beberapa mikroalga komersial yang sering digunakan untuk menghasilkan produk herbal dan nutrasetikal. Mikroalga tersebut adalah *Spirulina* sp. dan *Chlorella* sp. yang sering digunakan untuk menghasilkan produk nutrasetikal (suplemen kesehatan) (Gambar 198). Selain itu, spesies mikroalga *H. pluvialis* sering digunakan untuk menghasilkan pigmen astasantin yang banyak digunakan untuk pigmen kesehatan, pakan, kosmetika dan farmasetika (Gambar 199).



Gambar 198. Mikroalga uniseluler yang biomasnya banyak dijadikan sebagai suplemen makanan (A). *Spirulina* sp., (B). *Chlorella* sp., dan (C). Contoh produk nutrasetikal (suplemen) dari *Spirulina* sp. (Diadaptasi dari: Nicoletti, 2016)



Gambar 199 Siklus hidup mikroalga *H. pluvialis*. (A). sel vegetatif bergerak berwarna hijau, (B). sel tidak bergerak intermediet, (C). sel mengakumulasi karotenoid intermediet, dan (D). sel ditandai dengan kaya karotenoid berwarna merah (Diadaptasi dari: Rang, 2011).

Selain mikroalga, rumput laut (makroalga) banyak digunakan dan dikembangkan dalam berbagai aplikasi polisakarida yang dihasilkannya. Rumput laut tersebut adalah rumput laut hijau penghasil Ulvan, rumput laut coklat penghasil alginat, dan fukoidan, serta rumput laut merah penghasil karagenan. Adapun berbagai nama dagang dan aplikasinya dari beberapa produk polisakarida asal rumput laut dapat dilihat pada Tabel 35.

Tabel 35.
Beberapa
polisakarida utama
dari rumput laut,
nama dagang
dan aplikasinya
(Laurienzo, 2018).

Sumber Rumput Laut	Tipe polisakarida	Nama dagang	Aplikasi
Rumput Laut Hijau (Chlorophyta)	Ulvan	Mimsys®	<i>Wound healing</i>
Rumput Laut Coklat (Phaeophyta)	Alginat	AlgicellTM	<i>Wound dressing</i>
		AlgiSite MTM	<i>Antiulcer, antiaacid effect</i>
		Comfeel PlusTM	
		KaltostatTM	
		SorbsanTM	
		Gaviscon®	
		AlgitecTM	
		GastralginTM	
		TegagenTM	
Fukoidan	Fukoidan	PeridanTM	Larutan, gel, film untuk <i>treating</i> hewan
		Fucolam®	Postsurgical adhesion
		WO/32099	Imunomodulator, antibakteri, antiviral, aktivitas antitumor, probiotik, hepatoprotektif, efek menurunkan kolesterol
Rumput Laut Merah (Rhodophyta)	Karagenan	SeaGel®	Suplemen
		GENUVISCO®	Derma- dan nutrikosmetika, pasta gigi dan <i>hair care</i>
		GENUGEL®	Masker wajah, <i>gelling agent</i> , <i>cell entarpmnt</i>

8.3.2 Kosmetika

Istilah kosmetikal berasal dari kata kosmetik dan farmaseutikal yang merujuk pada produk yang mengandung bahan-bahan aktif tertentu. Salah satu aspek kehidupan yang berkembang pesat saat ini adalah bidang kecantikan dan *personal care*. Seiring dengan meningkatnya kesejahteraan, maka persoalan kecantikan menjadi sangat penting. Wanita Asia, termasuk Indonesia, banyak memiliki kulit berwarna coklat dan berkeinginan untuk

mempunyai kulit yang lebih cerah atau lebih putih. Oleh karena itu sampai saat ini, produk pencerah kulit menjadi produk kosmetikal yang terlaris di Asia (Berson *et al.*, 2009).

Selain produk pencerah kulit (*whitening agent*), produk yang juga sangat laris adalah produk anti penuaan (*anti aging*). Studi epidemiologis dan klinis telah menemukan bahwa konsumsi makanan dan minuman nabati, seperti teh, anggur merah, dan kedelai produk kacang dapat mengurangi risiko penyakit terkait kerusakan oksidatif seperti penuaan dan lainnya penyakit gaya hidup. Ekosistem laut dengan variasi lingkungan, biodiversitas dan kemodiversitas yang tinggi, menjadi salah satu sumber bahan aktif yang dapat memenuhi kebutuhan kosmetikal tersebut (Thomas & Kim, 2013).

Kosmetik laut mencakup ekstrak herbal maupun bahan (*ingredient*) aktif yang diformulasikan dalam suatu produk kosmetikal. Sumber utama ekstrak dan bahan aktif untuk kosmetikal laut sangat bervariasi mulai dari rumput laut, mikroalga, invertebrata laut terutama dari golongan krustasea dan ekinodermata, ikan, mikroba, dan lumpur laut. Ekstrak aktif dari laut untuk formulasi kosmetik dapat ditemukan pada berbagai.

Beberapa jenis senyawa bioaktif dari laut dan sumber utamanya yang potensial dikembangkan sebagai produk kosmetika adalah kolagen yang berasal dari hampir semua teripang, pigmen astasantin dan fukosantin, serta senyawa florotanin berasal dari rumput laut. Karbohidrat fukoidan, alginat dan karageenan berasal dari rumput laut, serta kitin dan kitosan berasal dari cangkang kepiting, rajungan, udang dan lobster, mikroalga dan beberapa jenis mikroba (Tabel 36).

Tabel 36.
Jenis dan Sumber
Senyawa Bioaktif
dari Laut
serta khasiat
kosmetikanya
(diolah dari
berbagai sumber)

Senyawa	Deskripsi Singkat	Khasiat dalam Kosmetika	Sumber Utama
<i>Kolagen</i>	Merupakan komponen utama struktural utama tulang, tulang rawan, kulit, tendon, ligamen, pembuluh darah, gigi, kornea, dan semua organ vertebrata. Struktur molekul kolagen terdiri dari tiga rantai polipeptida α yang disatukan dalam triple helix. Setiap rantai polipeptida α terdiri dari urutan berulang triplet (Gly-X-Y) _n , di mana X dan Y sebagian besar merupakan prolin (Pro) dan hidrokisprolin (Hyp).	Menjaga elastisitas kulit, regenerasi jaringan, menstimulasi produksi kolagen oleh jaringan tubuh sendiri, meremajakan kembali lapisan dermis. Karena khasiat tersebut fungsi utama kolagen dalam kosmetikal adalah sebagai agen antiaging	Hampir semua jenis teripang tropis (misalnya <i>Holothuria scabra</i> , <i>H. atra</i> , <i>Sticophus variegatus</i> , berbagai jenis ikan dan spons

Senyawa	Deskripsi Singkat	Khasiat dalam Kosmetika	Sumber Utama
<i>Fukosantin</i>	Pigmen karotenoid utama yang dihasilkan oleh rumput laut coklat, dicirikan dengan adanya ikatan alenik, gugus fungsi epoksi, hidroksi, dan kabonil. Fukosantin menjadi faktor utama yang menentukan warna coklat pada rumput laut Phaeophyta (rumput laut coklat)	Memiliki bioaktivitas yang luas, dalam kosmetikal, fukosantin meredam radikal bebas (antioksidan) dan menekan proses melanogenesis dengan cara menghambat enzim tyrosinase. Selain itu, fukosantin dapat digunakan sebagai anti obesitas sehingga sangat membantu dalam menjaga tubuh tetap langsing	Alga coklat, di Indonesia terutama dari genus <i>Sargassum</i> , <i>Padina</i> , <i>Turbinaria</i> , dan <i>Hormophysa</i> .
<i>Astasantin</i>	Pigmen merah dari golongan santofil, suatu turunan dari karotenoid yang teroksidasi, memiliki keterkaitan dengan karotenoid lain seperti β -karoten, zeasantin dan litein. Adanya gugus hidroksi dan ujung-ujung keto pada tiap setiap cincin ionone menjadikannya memiliki karakteristik yang khas dibanding karotenoid lain	Astasantin memiliki sifat antioksidan yang kuat (550 kali vitamin E dan 6000 kali vitamin C), oleh karena itu sangat berkhasiat sebagai UV protektor (fotoprotektif), melawan oksidasi dan pigmentasi serta memiliki aktivitas antibakterial dan antiinflamasi sehingga dapat digunakan sebagai anti jerawat	Cangkang kepiting, udang dan lobster, mikroalga dan beberapa jenis mikroba
<i>Phlorotannin</i>	Phlorotannins dibentuk oleh polimerisasi monomer phloroglucinol (1,3,5-trihidroksibenzena) dan disintesis melalui jalur asetat-malonat (jalur poliketida). Bersifat sangat hidrofilik, ukuran molekul berkisar antara 126 Da dan 650 kDa. Selain itu, phlorotannins terdiri dari unit-unit phloroglucinol yang saling berikatan (terutama pada alga coklat dan merah)	Fotoprotektif sehingga dapat digunakan sebagai agen kemopreventif kanker kulit, antioksidan dan sebagai tirosinase inhibitor.	Alga coklat dan merah
MAA	MAA merupakan sebuah molekul kecil (BM < 400 Da) yang mengandung cincin sikoheksanon, ataupun sikloheksenimin dengan substitusi yang bervariasi. Serapan maksimum MAA pada panjang gelombang 310 dan 362 nm.	Struktur cincin merupakan gugus yang bertanggung jawab terhadap penyerapan sinar UV dan peredaman radikal bebas. MAA merupakan peredam alami sinar UV yang sangat kuat, dengan sifat ini maka MAA berkhasiat sebagai pelindung sinar UV-A dan UV-B	

Senyawa	Deskripsi Singkat	Khasiat dalam Kosmetika	Sumber Utama
<i>Fukoidan</i>	Suatu polisakarida mengandung sulfat yang secara eksklusif terdapat pada dinding sel rumput laut, tersusun dari α 1 3-linked 1-fucose dengan gugus sulfat terdapat pada residu fukosa pada posisi 4	Fukoidan membantu melindungi dari radiasi sinar UV-B dan meningkatkan ekspresi prokolagen I sehingga dapat dipakai sebagai antiaging dan anti kerut. Sebagai tambahan, fukoidan dapat mengurangi inflamasi pada matriks ekstraseluler	Alga coklat, di Indonesia terutama dari genus <i>Sargassum</i> , <i>Padina</i> , <i>Turbinaria</i> , dan <i>Hormophysa</i> .
<i>Alginate</i>	Suatu polimer linier organik polisakarida yang terdiri dari monomer α -L asam guluronat (G) dan β -D asam manuronat (M), atau dapat berupa kombinasi dari kedua monomer tersebut.	Aditif kosmetik untuk meningkatkan, memodifikasi tekstur, stabiliser dan pengemulsi pada pH rendah	Alga coklat, terutama dari genus <i>Sargassum</i> , dan <i>Turbinaria</i> .
<i>Karagenan</i>	Merupakan rantai polisakarida mengandung sulfat dengan berat molekul lebih dari 100.000 kDa dan bersifat hidrokoloid. Terdapat tipe utama karagenan yang digunakan dalam industri adalah ι -karagenan, κ -karagenan, dan λ -karagenan	Pengatur viskositas, aditif, stabiliser, pembentuk gel, pengikat air	Alga merah terutama dari jenis <i>Euchema spinosum</i> , <i>E.cotonii</i> , <i>Gigartina</i> sp.
<i>Kitin dan Kitosan</i>	Kitin adalah homopolisakarida linear yang tersusun atas esidu N-asetilglukosamin pada rantai beta dan memiliki monomer berupa molekul glukosa dengan cabang yang mengandung nitrogen sedangkan kitosan dihasilkan oleh deasetilasi molekul basa nitrogen parsial pada kitin, deasetilasi tersebut berlangsung secara enzimatik dibantu oleh kitin deasetilase.	Sebagai sunscreen karena bersifat UV protektif, ingredient untuk pembersih kulit, pelembab, perawatan rambut dan <i>oral hygiene</i>	Cangkang kepiting, rajungan, udang dan lobster, mikroalga dan beberapa jenis mikroba

Mikroalga dan Rumput Laut Sumber Kosmetika dari Laut

Selain aplikasi alga (mikroalga dan makroalga) untuk herbal dan nutrasetikal, maka senyawa-senyawa bioaktif dari mikroalga dan rumput laut juga memiliki sifat kosmetika, sehingga nantinya juga bisa diaplikasikan dalam bidang kosmetika. Dalam aplikasi kosmetika, senyawa-senyawa bioaktif yang berasal dari mikroalga dan rumput laut dibedakan atas 5 kelompok senyawa, yaitu: (1). Senyawa polisakrida, seperti alginat, karageenan, agar, laminaran, ulvan, dan fukoidan, (2). Senyawa lipid seperti asam lemak dan fitosterol, (3). Senyawa protein dan turunannya seperti asam-asam amino, lektin dan peptide siklik, (4). Senyawa pigmen seperti klorofil, karotenoid dan fikobiliprotein, dan (5). Senyawa fenolik seperti florotanin, bromofenol dan terpenoid (Tabel 37).

Tabel 37.
Sifat Kosmetika dari
Senyawa Bioaktif
Alga (Mikroalga dan
Rumput Laut, diolah
dari berbagai sumber).

Kelompok Senyawa	Contoh Senyawa Utama	Sifat Kosmetika	Spesies Alga
Polisakarida	Alginat	Pengental, penstabil emulsi, gelling, moisturizing, imunostimulan, agen pengkelat	<i>Sargassum</i> sp., <i>Turbinaria</i> sp., <i>Padina</i> sp., <i>Laminaria</i> sp.
	Karageenan	Pengental, gelling agent, protective colloid	<i>Chondrus crispus</i>
	Agar	Pengental, gelling agent, protective colloid	<i>Euchema</i> sp., <i>Glacilaria</i> sp., <i>Gellidium</i> sp.,
Polisakarida	Laminaran	Antioksidan, antiviral, antiselulit, antiaging,	<i>Laminaria</i> sp.
	Ulvan	Gelling, moisturizing, agen pengkelat,	<i>Ulva</i> sp.
	Fukoidan	Antioksidan, antiinflamasi, antiaging, elastase, inhibitor tirosinase	<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Fucus</i> sp., <i>Ecklonia cava</i>
Lipid	Asam lemak: DHA, EPA, asam oleat, asam palmitat, ALA, AA, LA dan GLA	Antioksidan, antiaging, antialergi, antiinflamasi, antimikroba, emollients, dan regenerating agents.	<i>Spirulina platensis</i> , <i>Chondrus crispus</i> , <i>Porphyra umbilicalis</i>
	Fitosterol; β -sitosterol, fukosterol dan ergosterol	Antialergi, antioksidan, agen antiinflamasi dan radical scavenger	<i>Porphyra dentate</i>
Protein dan turunannya	Asam amino: histidin, taurin, asam glutamate, serin, alanin	Moisturizing, antioksidan, sunscreen alami	<i>Ulva pertusa</i> , <i>Palmaria palmate</i> & <i>Porphyra umbilicalis</i>
	Lektin	Antibakteri, antiviral, antiinflamasi, dan agen antiadesif	<i>Euchema sera</i> , <i>Ulva</i> sp.
	Peptida siklik	Agen antifungi	<i>Spirulina</i> sp

Kelompok Senyawa	Contoh Senyawa Utama	Sifat Kosmetika	Spesies Alga
Pigmen	Klorofil: a, b, c dan d	Antioksidan, antibakteri, deodorizing, pewarna dan agen pemicu pertumbuhan jaringan	<i>Ulva lactuca</i> , <i>Cladophora glomerata</i> , <i>Spirulina platensis</i>
	Karotenoid: β -karoten, astasantin, lutein dan fukosantin	Antioksidan, antiinflamasi, antiaging, radical scavenging, pewarna, dan inhibitor tirosinase	<i>Dunaleila salina</i> , <i>Spirulina platensis</i> , <i>Haematococcus pluvialis</i> , <i>Laminaria japonica</i> , <i>Sargassum</i> sp., <i>Padina</i> sp., <i>Turbinaria</i> sp.,
	Fikobiliprotein: Fikosianin, fikoeritrin, allofikosianin	Pewarna, antioksidan, antiinflamasi dan agen radical scavenging	<i>Spirulina</i> sp., <i>Rhodella</i> sp., <i>Galdieria</i> sp.
Senyawa Fenolik	Florotanin: fukol, floretol, fukofloretol, fuhalol dan eckol	Antiaging, antiinflamasi, antialergi, antioksidan, UV screen alami, inhibitor histamin, tirosinase dan inhibitor hyaluronidase	<i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Ascophyllum nodosum</i> & <i>Ecklonia cava</i>
	Bromofenol	Antioksidan, antimikroba, dan agen antitrombotik	<i>Laurencia</i> sp.
	Terpenoid	Antialergi, antioksidan, antibakteri, dan antifungi	<i>Laurencia luzonensis</i> & <i>L. rigida</i>

Dari sekian banyak kelompok senyawa fenolik, diketahui bahwa senyawa florotanin banyak diaplikasikan dalam bidang kosmetik, seperti sebagai pemutih, *Anti-wrinkling*, *UV protection* dan antialergi. Adapun jenis senyawa florotanin yang diisolasi dari rumput laut banyak digunakan dalam aplikasi kosmetika adalah senyawa diekol, ekol, dioksinodehiroekol floroglusinol dan senyawa florotanin lainnya (Sanjeeva *et al.*, 2016) (Tabel 38).

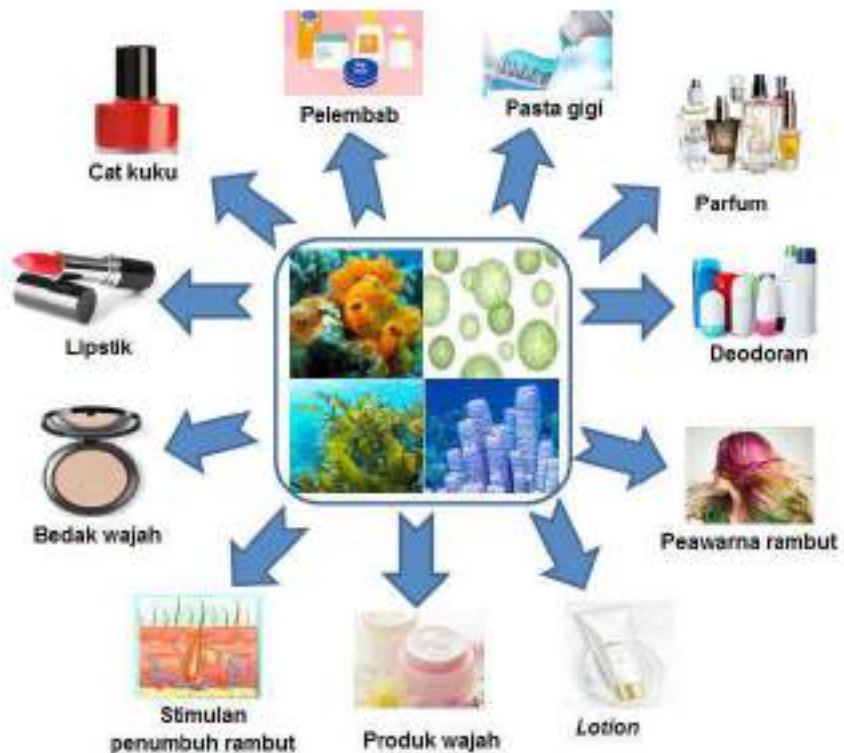
Tabel 38.
Sifat-sifat florotanin yang diisolasi dari rumput laut dan banyak diaplikasikan dalam bidang kosmetika (Sanjeeva *et al.*, 2016).

No	Jenis Rumput Laut	Nama Florotanin	Aktivitas	Efek/Model Aksi/Aplikasi
1	<i>Ecklonia cava</i>	Diekol, dioksinodehidroekol, ekol, floroglusinol, dan 7-floreakol	Menghambat tirosinase	Pemutih
2	<i>Ecklonia stolonifera</i>	Diekol, ekol, ekstolonol, floroglusinol dan florofukofuroekol A	Menghambat tirosinase	Pemutih
3	<i>Hizkia fusiformis</i>	4-hidroksifenetil alkohol	Menghambat tirosinase	Pemutih
4	<i>Ishige foliacea</i>	Oktafloretol A	Menghambat tirosinase	Pemutih
5	<i>Cystoseira nodica aulis</i>	Biekol, fukofloretol, 7-floreakol dan florofukofuroekol	Menghambat Hyaluronidase	Anti-wrinkling
6	<i>Ecklonia bicylis</i> dan <i>Ecklonia kurome</i>	Diekol, ekol, floroglusinol, florofukofuroekol A dan 8,8'-biekol	Menghambat Hyaluronidase	Anti-wrinkling
7	<i>Ecklonia stolonifera</i>	Eckol dan diekol	Menghambat MMP	Anti-wrinkling

8	Ecklonia cava	6,6'-biekol dan dioksinodehidroekol	Menghambat MMP	Anti-wrinkling
9	Ecklonia cava	Diekol, ekol, ekstonolol, fukodifloretol G, floroglusinol dan trifloretol A	Antioksidan	UV protection
10	Ecklonia cava	Diekol dan floroglusinol	Pembebasan histamin	Anti alergi

Sekarang ini telah banyak produk kosmetika yang digunakan berasal dari sumber laut. Konsep kembali ke alam (*back to nature*) yang menjadi pandangan konsumen semakin mendorong industri kosmetikal dan *personal care* mencari bahan-bahan alami dari laut. Laut Indonesia yang begitu luas dengan spesiesnya yang luar biasa belum banyak dieksplorasi sehingga membuka peluang yang besar untuk menemukan sumber-sumber baru bahan aktif untuk industri kosmetika.

Beberapa aplikasi produk kosmetika dari sumber laut adalah untuk cat kuku, sebagai pelembab, pasta gigi, parfum, deodoran, lisptik, bedak wajah, pewarna rambut, lotion, produk wajah dan stimulant penumbuh rambut (Gambar 200). Produk kosmetika dari produk laut tidak selalu dalam bentuk murni, namun juga masih banyak dalam bentuk ekstrak kasar yaitu dalam bentuk ekstrak kasar krim wajah (Gambar 201), dan dalam bentuk ekstrak kasar mikroalga dengan berbagai efek kosmetika dan produk pasarnya yang telah banyak dijual (Tabel 39)



Gambar 200
Berbagai Produk
kosmetika dari
sumber laut (Kim
& Bhatnagar,
2012).

Efek kosmetika	Produk Pasar	Mikroalga penghasil
Anti-aging	Protulines®	Arthospira (Spirulina)
Stimulasi sintesis kolagen	Dermochorella®	Chlorella vulgaris
Skin tightening	Pepha®-Tight	Nanochloropsis oculata
Stimulasi proliferasi sel	Pepha®-Ctive Blue Retinol™	Dunaliella salina
Memperbaiki kulit yang rusak	Remergent™	Anacystis nidulans

Tabel 39.
Kosmetik dari ekstrak alga: produk dan mikroalga penghasilnya (Griffiths *et al.*, 2016)



Gambar 201.
Contoh produk kosmetika (cream) dari ekstrak rumput laut.

Teripang Sebagai Sumber Bahan Kosmetik

Selain memiliki manfaat sebagai sumber senyawa bioaktif farmakologis, teripang juga memiliki potensi untuk dikembangkan dalam bidang kosmetika. Seperti diketahui, teripang memiliki kandungan protein yang cukup tinggi, di mana sekitar 70 persennya adalah kolagen. Kolagen merupakan salah satu jenis protein struktural penyusun komponen kulit, gigi, tulang, otot dan rambut. Hidrolisis kolagen secara enzimatis menghasilkan hidrolisat yang mengandung peptida kolagen. Kolagen tersusun dari asam-asam amino yang terutama didominasi oleh asam amino prolin, hidroksi prolin, alanin dan glisin (Bordbar *et al.*, 2011). Kolagen tidak saja diaplikasikan pada produk-produk kesehatan namun juga banyak digunakan untuk kosmetika terutama sebagai agen untuk menjaga kelembaban kulit dan sebagai anti aging (Silva *et*

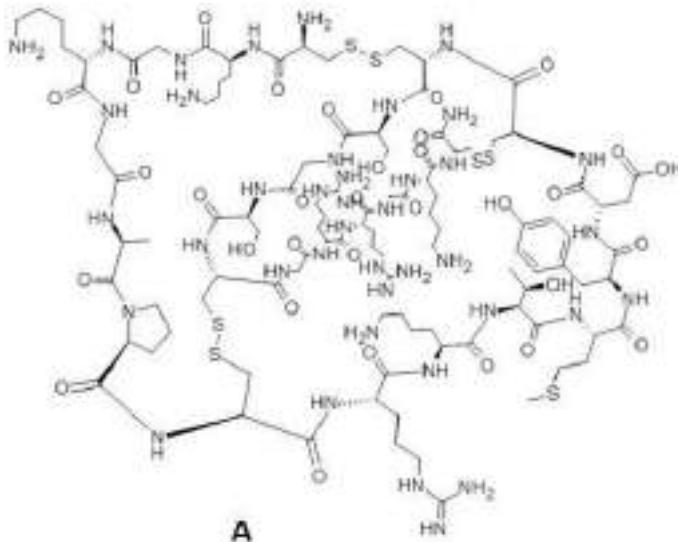
al., 2014; Alhana *et al.*, 2015). Selain kolagen, manfaat dalam bidang kosmetik dan *personal-care* dari teripang juga berhubungan dengan kandungan polisakarida yang terdapat dalam teripang seperti kondroitin sulfat dan fukoidan.

8.3.3 Farmasetika

Siput Laut dan Tunicate sebagai sumber Farmasetika Laut

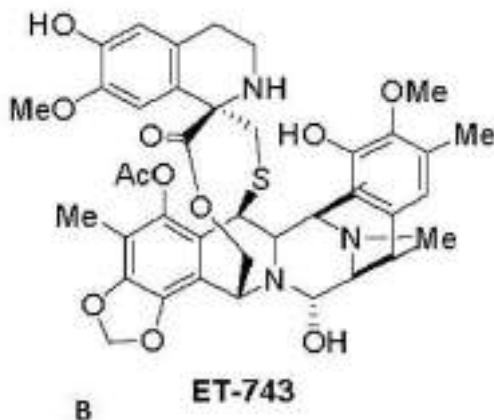
Senyawa bioaktif dari laut sudah banyak diaplikasikan dalam bidang farmasi dan telah dikomersialkan. Contoh senyawa bioaktif dari laut yang sudah dikomersialkan adalah senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh siput laut *Conus magus*. Senyawa yang dihasilkannya adalah conotoksin yang memiliki kemampuan 100 – 1000 kali dari morfin sebagai *pain killer*. Saat ini versi komersial dari conotoksin tersebut dibuat dengan cara sintesis oleh perusahaan Élan Corporation plc di Irlandia. Conotoksin digunakan untuk perawatan pasien yang menderita nyeri neuropatik kronis. Obat ini telah disetujui untuk dijual dengan nama Prialt® oleh *Food and Drug Administration*

Gambar 202.
Conotoksin dari siput
Conus magus (diolah
dari berbagai sumber)



AS pada bulan Desember 2004. Sedangkan Uni Eropa menyetujui penggunaan obat ini pada Februari 2005. Siput tersebut melumpuhkan mangsanya dengan menyuntikkan suatu peptida neurotoksin (Gambar 202).

Contoh lainnya adalah tunikata (filum Ascidian) dari jenis *Ecteinascidia turbinata* (Gambar 203). Organisme ini menghasilkan suatu senyawa sitotoksik yang identifikasi sebagai ecteinascidine-743 (ET-743). Obat ET-743 dikomersialkan dengan merek dagang Yondelis®. Perusahaan Pharmamar dari Spanyol memasarkan Yondelis® di Eropa pada bulan September 2007 untuk terapi sarkoma jaringan lunak. Yondelis merupakan obat pertama yang disetujui untuk terapi tersebut selama lebih dari 25 tahun. Yondelis pada tahun 2008 berhasil dijual dipasarkan dengan nilai penjualan mencapai US \$ 30 juta, lalu tahun 2009 naik menjadi \$ 45 juta pada 2009. Obat ini telah disetujui untuk digunakan di 57 negara di seluruh dunia, dan 26 negara di antaranya berada di luar Eropa. Saat ini Yondelis juga digunakan untuk pengobatan kanker ovarium, sehingga penjualannya meningkat menjadi \$ 17 juta pada kuartal pertama 2010 (Hurst *et al.*, 2016).



Gambar 203.
Ecteinascidia turbinata dan produk obat ET-743 yang dihasilkan

Selain dua senyawa di atas, masih banyak senyawa bioaktif laut yang sudah dikomersialkan dengan nama produknya seperti Trabectedin, Brentuximab vedotin, Eribulin mesilat, Prialt, Cytarabine dan beberapa di antaranya masih dalam tahap uji klinis seperti Salinosporamida A, Bryostatin, Elisidipsin dan Aplidin. Untuk lebih lengkapnya asal biota, manfaat dan statusnya dapat dilihat pada Tabel 40.

Tabel 40.
Daftar contoh senyawa bioaktif laut yang sudah komersial dan sedang dalam tahap uji klinis (Kanase & Singh 2018; Torres, *et al.*, 2017; dan Martin, *et al.*, 2014)

No	Nama Produk	Asal Biota	Manfaat	Status
1	<i>Trabectedin</i>	Tunikata Ecteinascidia turbinata	Antikanker	Komersial 2015
2	<i>Brentuximab vedotin</i>	Moluska Dolabella auricularia-Sianobakteria	Antikanker	Komersial 2011
3	<i>Eribulin mesilat</i>	Spons Halichondria okadai, Lissodendoryx sp. Axinella sp. dan Phakellia sp.	Antikanker	Komersial 2010
4	<i>Asam ester etil omega-3</i>	Ikan	Antikolesterol	Komersial
5	<i>Prialt</i>	Siput laut Conus magus	Penghilang sakit	Komersial 2004
6	<i>Vidarabin</i>	Spons Tethya crypta	Antivirus	Komersial 2004
7	<i>Cytarabine</i>	Spons Cryptotethya crypta	antileukemia	Komersial 1969
8	<i>Salinosporamida A</i>	Bakteri Salinispora tropica	Antitumor	Uji Klinis Fase I
9	<i>Bryostatin</i>	Bryozoa Bugula neritina-konsorsium bakteri	Anti Alzheimer	Uji Klinis Fase II
10	<i>Elisidipsin</i>	Moluska Elysia rufescens	Antitumor	Uji Klinis Fase II
11	<i>Aplidin</i>	Ascidian Aplidium albicans	Antitumor	Uji Klinis Fase III

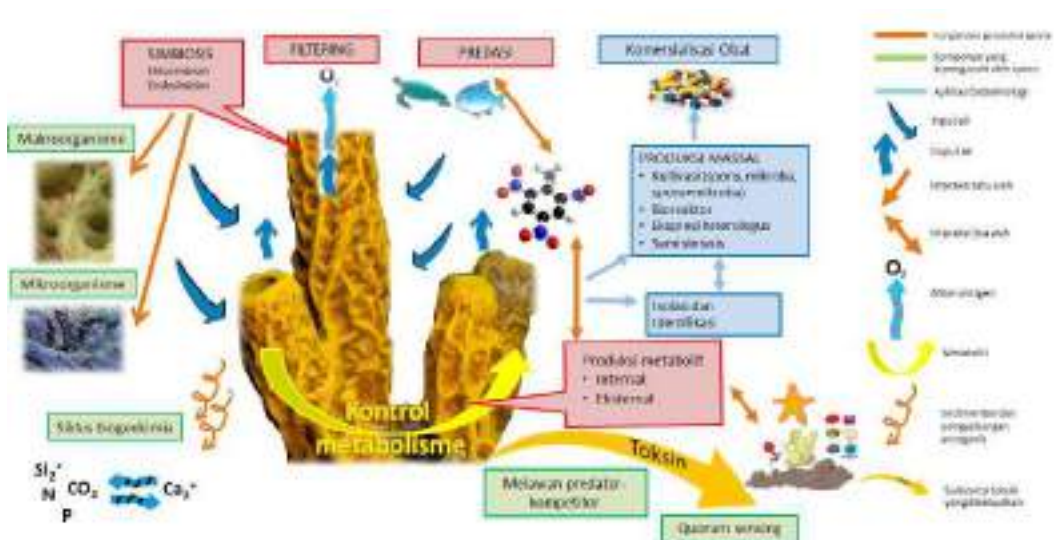
Spons Sebagai Sumber Farmasetika Laut

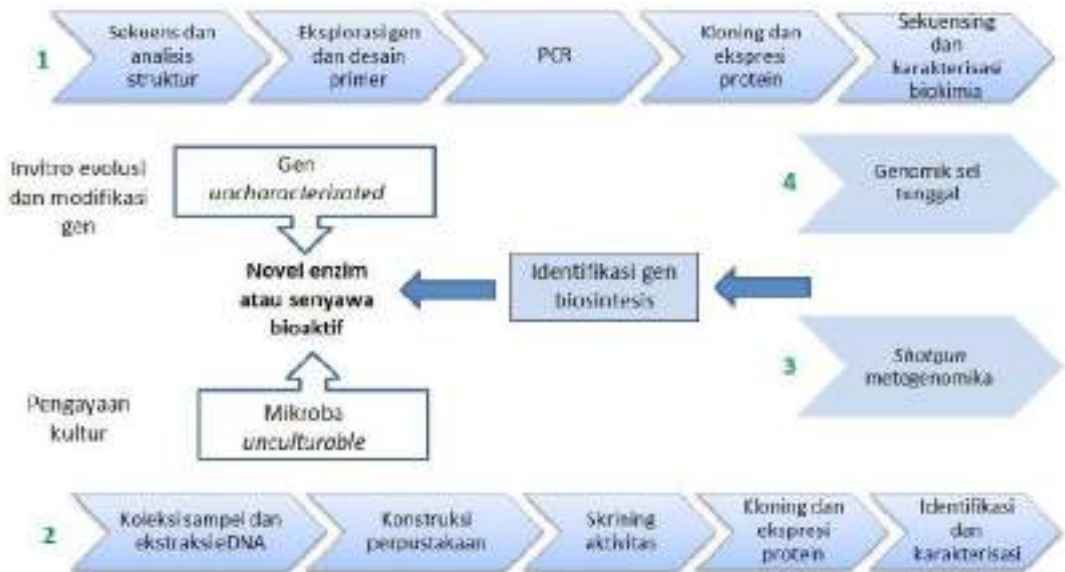
Spons merupakan sumber senyawa bioaktif yang sangat atraktif dari lingkungan laut. Lebih dari 7000 senyawa bioaktif. Lebih dari 7000 senyawa bioaktif telah ditemukan dari lingkungan laut (Blunt *et al.*, 2016). Spons menjadi habitat bagi komunitas mikroba simbiotik dengan keragaman yang sangat tinggi. Setengah dari biomassa spons tersusun atas mikroba simbiotik tersebut (Taylor *et al.*, 2007). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa senyawa bioaktif pada spons dihasilkan oleh “kerjasama” mikroba simbiotik dan spons. Berbagai metode bioteknologi dikembangkan untuk memperoleh senyawa bioaktif dari mikroba simbiotik tersebut. Hubungan simbiotik antara spons dengan mikroba disajikan pada Gambar 204.

Titik kritis dalam proses pengembangan obat dari organisme laut adalah ketersediaan organisme dan sumber senyawa aktif dalam jumlah yang mencukupi. Titik kritis ini sering dikenal dengan istilah problem pasokan (*problem supply*). Pengambilan organisme laut sebagai sumber senyawa bioaktif dari habitat alami secara terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan habitat dan punahnya suatu organisme. Selain risiko ekologis tersebut, rendemen yang dihasilkan dari ekstraksi senyawa bioaktif juga sangat kecil, sehingga tidak mencukupi untuk pengembangan lanjutan sampai skala yang komersial.

Jika permasalahan pasokan bisa diatasi, baik secara ekonomis maupun ekologis, maka produk-produk kesehatan dari laut tersebut memiliki peluang yang besar untuk di komersialkan (Martin, *et al.*, 2014). Problem pasokan ini dapat diatasi secara bioteknologi melalui akuakultur, kultivasi atau fermentasi, rekayasa genetika, modifikasi atau sintesis secara enzimatis maupun dengan sintesis kimia (Gambar 205) (Lindequist, 2016).

Gambar 204. Gambaran skematis hubungan antara spons dengan mikroba simbiosis serta prospek produksi skala besar dari senyawa bioaktif yang dihasilkan.





Gambar 205.

Mikroba Laut Sebagai Sumber Farmasetika Laut

Analisis metagenomik dalam pencarian biokatalis ataupun senyawa bioaktif.

(1) skrining berdasarkan sekuens; (2) skrining berdasarkan fungsi; (3) shotgun metagenomika, dan (4) genomika sel tunggal (Martin *et al.*, 2014).

Mikroba laut merupakan sumber yang potensial sebagai penghasil enzim. Salah satunya adalah bakteri termofil yang saat banyak mendapat perhatian besar. Hal ini disebabkan karena secara ekologis bakteri mampu beradaptasi dan bertahan hidup dalam relung ekologi yang ekstrem seperti suhu tinggi atau rendah, pH ekstrim, konsentrasi garam tinggi dan tekanan yang tinggi. Dengan karakteristik seperti ini bakteri termofil memungkinkan untuk menghasilkan enzim menarik.

Mikroba laut merupakan sumber senyawa bioaktif yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan dan industri bioteknologi. Kemajuan bioteknologi dalam bidang genomik, metagenomik, proteomik, biosintesis, metode penapisan, sistem ekspresi, bioinformatika, dan ketersediaan sekuensing genom yang semakin meningkat memungkinkan untuk menggali sumber senyawa bioaktif dan biokatalis dari mikroba laut. Kombinasi teknik bioteknologi modern tersebut bersama dengan metode konvensional dan analisis dereplikasi merupakan metode yang efektif dalam mencapai tujuan tersebut.

Kapang Laut Sebagai Sumber Farmasetika Laut

Salah satu sumber metabolit sekunder yang saat ini banyak diteliti adalah kapang yang berasal dari lingkungan laut (*marine-derived fungi*). Kelompok mikroba ini dianggap sebagai sumber metabolit sekunder aktif (senyawa bioaktif) yang sangat potensial dan belum banyak dimanfaatkan, baik biodiversitasnya maupun kemodiversitasnya. Banyak publikasi yang

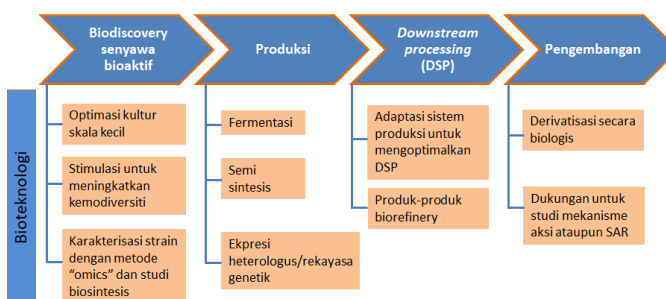
menyatakan bahwa komunitas *marine-derived fungi* yang mampu memproduksi berbagai macam senyawa bahan alam dapat diisolasi dari berbagai lingkungan yang berbeda di lautan (Sashidara *et al.*, 2009).

Penemuan senyawa Penisilin pada tahun 1929 oleh Sir Alexander Fleming merupakan tonggak penting penelitian produk alam untuk kepentingan pengobatan. Penisilin pertama kali diisolasi dari kapang *Penicillium notatum*. Setelah potensi penisilin banyak diteliti, pada tahun 1945 Giuseppe Brotzu meneliti sampel air laut di sekitar pembuangan sampah di Sardinia untuk meneliti mikroba yang mampu menghasilkan antibiotik. Brotzu mendapatkan strain kapang yang memiliki kemiripan dengan *Cephalosporium acremonium* (sekarang dikenal dengan nama *Acremonium chrysogenum*). Hasil penelitian Brotzu mengarah ke penemuan antibiotik *cephalosporin C* dikemudian hari (Bugni & Ireland, 2004).

Setelah penemuan Penisilin dan *Cephalosporin C*, eksplorasi terhadap kapang sebagai sumber senyawa obat semakin banyak dilakukan. Beberapa metabolit aktif dari kapang yang digunakan dalam pengobatan misalnya *Griseofulvin* (antibiotik), *Anidulafungin* (antifungal), *Clycospirine* (*immunosuppressant*), *Mycofenolic acid* (terapi autoimun), *Acyclovir* (antiviral), dan *Doxorubicin* (antikanker).

Sampai dengan tahun 2006, lebih dari 330 senyawa baru yang telah diisolasi dari kapang laut. Senyawa baru dari kapang laut sebagian besar diisolasi dari kapang yang berasosiasi dengan spons (28 persen), alga (27 persen), kayu (10 persen), ascidia (7 persen), dan moluska (6 persen). Senyawa aktif tersebut sebagian besar dihasilkan oleh kapang dari golongan *Aspergillus* dan *Penicillium*. Kedua genera kapang ini memiliki sifat kosmopolitan dan bisa ditemukan di berbagai tempat. Kedua kapang tersebut juga memiliki kisaran toleransi yang kuat dalam lingkungan lautan yang berkadar garam tinggi.

Meningkatnya jumlah senyawa baru yang ditemukan dari kapang laut menunjukkan tumbuhnya ketertarikan orang terhadap kapang laut sebagai sumber senyawa bioaktif baru (Bugni & Ireland, 2004; Mahyudin, 2008; Kjer *et al.*, 2010). Menurut Saleem *et al.*, (2005), sebagian besar senyawa aktif dari kapang laut diteliti aktivitasnya sebagai antibiotik dan antikanker. Contoh antibiotik dari kapang laut disajikan dalam Tabel 41 dan metode *biodiscovery* kapang laut untuk menghasilkan senyawa bioaktif disajikan pada Gambar 206.



Gambar 206. metode *biodiscovery* kapang laut untuk menghasilkan senyawa bioaktif

Tabel 41.

MetoAntibiotik dari kapang laut (Silber et al., 2016)

Antibiotik, Golongan Senyawa	Nama Kapang dan Hospes	Metode Bioteknologi	Aktivitas Antibiotik Terhadap
15G265 α,β,γ makrosiklik polilakton dan lipodepsipeptida	<i>Hypoxylon oceanicum</i> LL-15G256, mangrove	Optimasi medium dengan titer air laut yang semakin meningkat pada suhu rendah, lalu ditransfer ke tabung Fernbach dan 300 L fermentor	<i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Propionibacterium acnes</i>
Ascochyatin, spirodioksi naptalen	<i>Ascochycota sp.</i> NGB4, tali kapal pada pelabuhan perikanan	Optimasi medium pada skala kecil	Antibakterial dengan menghambat sistem regulator
Ascocetin, asam tetramik	<i>Lindgomycetaceae</i> , spons <i>Halichondria panicea</i>	EMF lalu lalu dipindah ke fermentor STR 10 L, optimasi medium untuk meningkatkan rendemen dan menurunkan waktu kultivasi	<i>S. epidermidis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. aureus</i> , <i>P. acnes</i> , <i>X. campestris</i> , <i>Septoria tritici</i>
Bis(2-etilheksil) palat, phthalate	<i>Cladosporium sp.</i> , air laut dari ekosistem mangrove	Tabung EMR lalu dipindah ke STR pada skala 2 L	<i>Loktanelle hongkongensis</i> , <i>M. luteus</i> , <i>Rhodovulum sp.</i> , <i>Ruegeria sp.</i> , <i>Pseudoalteromonas piscida</i> , <i>Vibrio harveyi</i>
Calcarides A-E, Makrosiklik	<i>Calcarisporium sp.</i> , air laut	STR 200 fold dengan adaptasi pH, rasion C/N dan optimasi pertumbuhan miselium	<i>S. epidermidis</i> , <i>X. campestris</i>
Cephalosporin, β -lactam	<i>Cephalosporium chrysogenum</i> , air laut	Rekayasa DNA dengan mutagenesis	Spektrum luas
3-Chloro-2,5-dihidroksibenzil alkohol, turunan benzena	<i>Ampelomyces sp.</i> , marine biofilm	Fermentasi pada EMF	<i>Micrococcus sp.</i> , <i>Vibrio sp.</i> , <i>Pseudoalteromonas sp.</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. haemolyticus</i>
Chrysogenazine, diketopiperazin	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Porteresia Coarctata</i> , daun mangrove	Fermentasi 1 L ke 5 L dengan modifikasi sumber C dan N	<i>Vibrio cholera</i>

Antibiotik, Golongan Senyawa	Nama Kapang dan Hospes	Metode Bioteknologi	Aktivitas Antibiotik Terhadap
Corollosporin, turunan petalida	<i>Corollospora maritima</i> , kayu yang terbawa arus laut	Proses enzimatik dengan perlakuan modifikasi garam	<i>Candida maltosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>S. haemolyticus</i>
Cyclo-(Pro-Phe), diketopiperazine	Kapang tidak teridentifikasi strain UST030110-009, marine biofilm	Fermentasi pada EMF	Antibacterial antibiofilm: <i>Micrococcus</i> sp., <i>Vibrio</i> sp., <i>Pseudoalteromonas</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. haemolyticus</i>
Enniatins, siklodepsi peptida	<i>Halosarpheia</i> sp., mangrove	Rekayasa genetik melalui ekspresi heterologus	<i>E. coli</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>Salmonella enterica</i> , <i>Shigella dysenteriae</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. aureus</i>
Exophilin A, 3,5-dihidroksi-dekanoat poliester	<i>Exophiala pisciphila</i> , spons	Fermentasi STR 20 L	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>S. aureus</i> , MR <i>S. aureus</i>
Lindgomycin, asam tetramic	Kapang familis <i>Lindgomycetaceae</i> , <i>Halichondria panicea</i> spons	Fermentasi STR 10 L	MR <i>S. aureus</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>P. acnes</i> , <i>X. campestris</i> , <i>S. tritici</i>
Obioninene, orto-quinon	<i>Leptosphaeria oraemaris</i> , Kayu yang terbawa arus laut	EMF dengan modifikasi salinitas	Bakteri yang berasosiasi dengan rumput laut <i>Fucus</i>
(+)-Terrein, siklopentanona	<i>Aspergillus terreus</i> PF-26, <i>Phakellia Fusca</i> , spons	Fermentasi STR dengan optimasi inokulasi, agitasi, aerasi, pH dan nutrisi	<i>B. subtilis</i>

Teripang Sebagai Sumber Farmasetika Laut

Teripang memiliki kandungan nutrisi tinggi dan senyawa biokatif yang sangat beragam mulai dari golongan saponin, fenol, protein hingga kolagen. Secara ringkas, komposisi senyawa bioaktif disajikan dalam Gambar 207.

Teripang termasuk dalam filum Echinodermata kelas Holothuroidea. Kelompok hewan ini berbentuk seperti timun dan hidup di laut. Teripang juga dikenal dengan nama *bêche-de-mer*, atau gamat, dan telah sejak lama dimanfaatkan oleh masyarakat Asia dan Timur Tengah sebagai makanan dan

Gambar 207. Kandungan nutrisi dan senyawa aktif pada teripang (Gambar diadopsi dari Janakiram *et al.* (2015) dan Siahaan *et al.* (2016).

obat tradisional. Teripang mengandung nutrisi berkualitas tinggi yang terdiri dari protein, asam-asam amino, vitamin, mineral, dan asam-asam lemak (Boardbar *et al.*, 2011; Ram 2017), triterpene glikosida, dan kondroitin sulfat. Khasiat atau manfaat teripang yang sudah dilaporkan adalah dapat menyembuhkan asma, memiliki sifat sitotoksik-antikanker, anti-inflamasi, antioksidan, imunomodulator, antiokoagulan, dan lain-lain (Sroyraya *et al.*, 2017; Khotimchenko, 2018)



8.4 Potensi Ekonomi dan Bioteknologi Kelautan

Sumber daya hayati laut memiliki peluang yang besar untuk dimanfaatkan dalam industri enzim, farmasi, pangan fungsional, kosmetik, pertanian, bioremediasi, biomaterail, bahan kimia, dan alat-alat kesehatan. Pada sisi yang lain, kebutuhan akan barang-barang tersebut di atas semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi global.

Nilai pasar produk bioteknologi kelautan dan perikanan diproyeksikan mencapai € 1 miliar dalam 5 tahun dengan asumsi pertumbuhan pasar 6-8 persen per tahun. Dalam kondisi seperti ini akan tersedia sekitar 10.000 lapangan pekerjaan baru. Laporan Smithers Rapra "Masa depan bioteknologi kelautan untuk aplikasi industri hingga 2025" menunjukkan bahwa pasar global untuk bioteknologi kelautan dan perikanan mencapai \$ 4,8 miliar pada tahun 2020 dan pada tahun 2025 meningkat menjadi \$ 6,4 miliar. Laporan ini mengindikasikan bahwa industri enzim laut dan biofuel dari rumput laut dan mikroalga, akuakultur (termasuk budidaya makroalga untuk produksi hidrokoloid) menjadi pendorong utama pertumbuhan pasar. Dalam hal ini,

pasar Asia-Pasifik merupakan pasar yang tumbuh paling cepat. Indonesia diakui sebagai wilayah berpotensi tinggi untuk pertumbuhan di masa depan yang dihasilkan dari sumber daya laut, namun sebagian besar potensi tersebut belum dijelajahi.

Terdapat lima bidang aplikasi paten tentang bioteknologi kelautan dan perikanan yang didaftarkan sampai dengan 2009, yaitu makanan, kosmetik, pertanian, kimia, dan farmakologi. Laporan lain menyebutkan adanya peningkatan aktivitas paten pada kelima bidang tersebut selama periode 1973 hingga 2007, di mana *patent* bidang kimia dan farmakologi meningkat masing-masing sebesar 53,5 persen dan 32,2 persen.

Peran bioteknologi dalam mengeksplorasi potensi keanekaragaman hayati laut semakin meningkat, hal ini membuktikan bahwa keanekaragaman hayati merupakan sumber sumber senyawa aktif bernilai tinggi. Kemajuan yang dicapai dalam penelitian bioteknologi kelautan merupakan faktor signifikan dalam meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan manusia serta pengelolaan lingkungan laut yang lestari.

Produk alami laut (senyawa bioaktif) sebagai anti-tumor, antiinflamasi, analgesia, imunomodulasi, antialergi, dan anti-virus semakin banyak ditemukan. Industri farmasi sejak awal mengakui potensi keanekaragaman hayati laut sebagai sumber obat-obatan baru dengan lebih dari 1.000 senyawa bioaktif baru yang memasuki uji pre-klinis antara 1998 dan 2011. Pengembangan senyawa bioaktif baru membutuhkan waktu yang panjang. Pada bulan Desember 2015, tujuh obat baru yang berasal dari laut telah setuju oleh Federal Drugs Administration (FDA) untuk digunakan secara klinis dan 28 lainnya sedang dalam pengujian klinis. Ikan, spons, tunikata, moluska, dan bakteri adalah sumber utama senyawa dalam percobaan ini.

Pada tahun 2018 pasar global untuk produk-produk nutrasetikal diperkirakan bernilai \$250 miliar. Produk-produk tersebut termasuk makanan, suplemen, pangan fungsional, makanan diet khusus, minuman olahraga dan makanan yang diformulasikan untuk medis. Pasar untuk asam lemak omega-3 diproyeksikan akan tumbuh hampir 14 persen per tahun dan mencapai hampir \$19 miliar pada tahun 2020. Diperkirakan produk-produk nutrasetika kelautan mencapai 32 persen dari total pasar nutrasetika

Pasar untuk kosmetika merupakan segmen yang tumbuh paling cepat dari industri kosmetik global. Banyak produk baru masuk ke pasar terutama untuk perawatan pribadi (*personal care*). Pasar global produk-produk kosmetik diperkirakan \$30,5 miliar pada tahun 2010 dan akan meningkat pesat; tumbuh pada tingkat sekitar 9 persen per tahun, antara tahun 2015 dan 2020.

Permintaan konsumen untuk produk bahan alami berkontribusi terhadap pertumbuhan pasar kosmetikal. Sementara ini ekstrak tanaman terestrial tetap menjadi sumber utama bahan alami, tetapi bahan asal laut

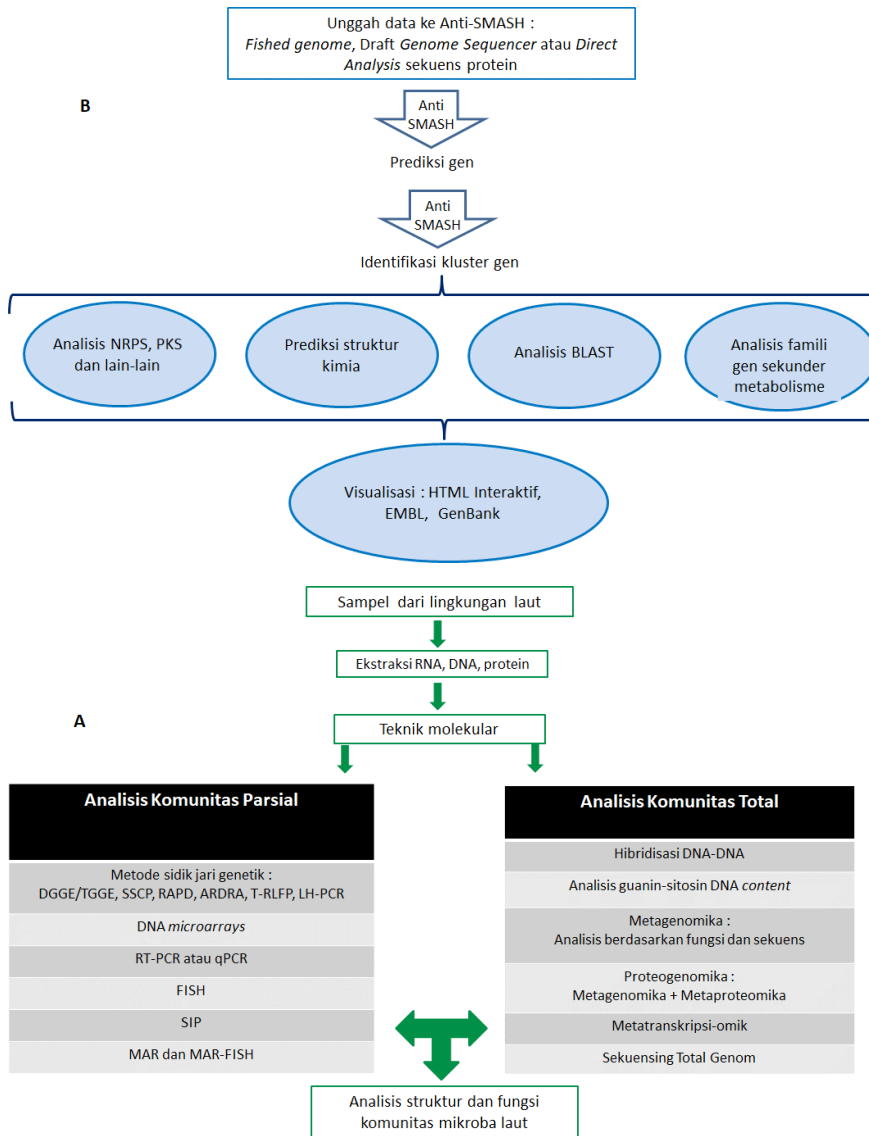
saat ini menjadi sebuah alternatif yang menjanjikan. Senyawa yang berasal dari telur ikan salmon, mikro dan makro alga, kulit ikan, dan tanaman yang ditemukan di daerah pantai saat ini banyak diproses untuk produk kosmetik. Studi industrial lebih lanjut menunjukkan bahwa 13 persen dari pasar kosmetik global adalah produk yang mengandung bahan-bahan laut.

Contoh sukses aplikasi bioteknologi laut adalah pengembangan senyawa aktif peptida dari siput laut *Conus magus*. Siput ini menghasilkan suatu senyawa peptida *neurotoksin* yang dikenal dengan *ziconotide* yang dapat melumpuhkan mangsanya. Versi sintetis dari peptida ini dikembangkan oleh Élan Corporation plc (Irlandia) menjadi obat untuk perawatan pasien yang menderita nyeri neuropatik kronis. Obat ini disetujui sebagai terapi dengan nama Prialt® oleh Food and Drug Administration (FDA) AS pada bulan Desember 2004 dan oleh UE pada Februari 2005. Contoh lebih lanjut adalah tunicata laut (*Ecteinascidia turbinata*) yang menghasilkan senyawa aktif ET-743. Senyawa tersebut oleh perusahaan Pharmamar Spanyol dikembangkan menjadi obat komersial Yondelis®. Obat ini disetujui di Eropa pada tahun 2007 sebagai terapi sarkoma jaringan lunak. Pada tahun 2008 penjualan Yondelis mencapai US \$30 juta, lalu naik menjadi \$45 juta pada 2009. Yondelis kemudian disetujui untuk digunakan di 57 negara, 26 negara di antaranya berada di luar Eropa. Pada tahun 2010, Yondelis disetujui sebagai terapi untuk kanker kanker ovarium, di mana setelahnya penjualannya meningkat menjadi \$ 17 juta pada kuartal pertama 2010 (Børresen *et al.*, 2010).

8.4.1 Strategi untuk Menggali Senyawa Bioaktif dan Biokatalis dari Laut

Strategi untuk menggali senyawa bioaktif dan biokatalis dari laut, sekarang ini banyak menggunakan biologi molekuler modern (dengan pendekatan omics) yang diintegrasikan dengan teknik mikrobiologi modern. *Biodiscovery* senyawa bioaktif dan biokatalis baru menjadi hal yang sangat penting sekaligus menghadirkan tantangan besar bagi para peneliti. Di tahun-tahun mendatang, pengembangan strategi *omics* seperti *direct sequencing*, eDNA, teknologi sel tunggal, metaproteomik dan sintetik biologis (misalnya strategi *co-selection-MAGE* akan meningkatkan penemuan dan produksi senyawa berharga dari laut. Dengan pengembangan sistem mikroba untuk ekspresi heterolog, teknologi NGS dan bioinformatika, *biodiscovery* kluster gen biosintetik akan terus berkembang pesat.

Strategi-strategi tersebut memungkinkan kita untuk mengakses jalur biosintetik dan gen pada mikroba laut yang sebelumnya tidak dapat diakses dengan metode bioteknologi konvensional. Kombinasi dari pendekatan bioteknologi terkini dan konvensional bersama dengan penggunaan analisis dereplikasi akan memberikan kepada kita *tools* mumpuni dalam *biodiscovery* senyawa bioaktif laut dan biokatalis baru yang memiliki aplikasi penting dalam kedokteran, industri farmasi, kosmetika dan lain-lain (Martin *et al.*, 2014).



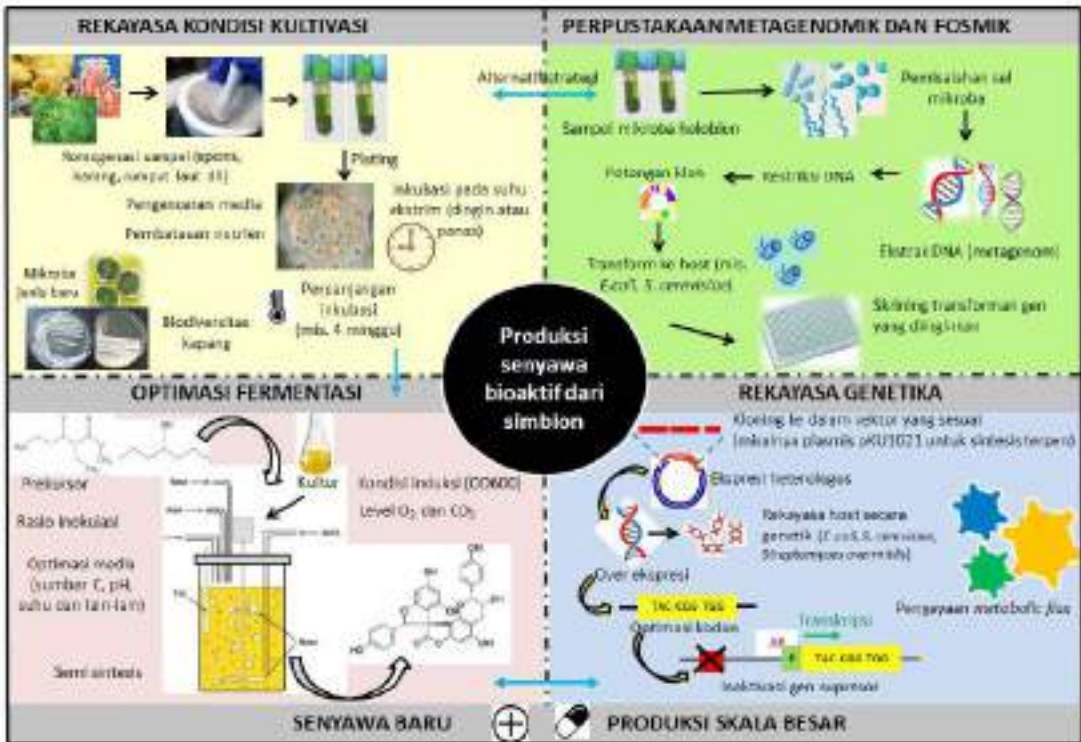
Gambar 208. Metode analisis struktur dan fungsi komunitas mikroba laut (A) dan diagram kerja AntiSMASH. Metode AntiSMASH digunakan untuk mendeteksi senyawa bioaktif (B) (Martin *et al.*, 2014)

Eksplorasi biodiversitas dan kemodiversitas mikroba simbiosis dari laut secara optimal dapat dilihat pada Gambar 208. Produksi senyawa bioaktif dari mikroba baik untuk memenuhi kebutuhan penelitian dan pengembangan maupun untuk industri secara garis besar dapat ditempuh dengan cara berikut.

Pertama, rekayasa kultivasi mikroba simbiosis untuk meningkatkan peluang mendapatkan biodiversitas tinggi dan keragaman senyawa bioaktif. Kedua, melalui metode metagenomik dan teknologi DNA rekombinan sehingga dapat diketahui kluster gen yang bertanggung jawab terhadap biosintesis senyawa bioaktif.

Gambar 209. Metode produksi senyawa bioaktif dari mikroba simbion (menurut Reimundo *et al.*, 2018 dengan sedikit modifikasi).

Studi fungsional metagenomik sangat membantu dalam memprediksi kebutuhan nutrisi sehingga sangat berguna dalam merancang media kultivasi yang paling tepat. Melalui rekayasa genetika dan sistem ekspresi heterologus scale-up produksi senyawa bioaktif dapat ditingkatkan secara signifikan. Optimalisasi proses fermentasi pada akhirnya akan dapat meningkatkan produksi bahan bioaktif, baik dengan menggunakan mikroba simbion asli maupun melalui sistem ekspresi. (Reimundo *et al.*, 2018).



8.4.2 Prospek Pengembangan Bioteknologi Kelautan Indonesia

Sumber daya hayati laut Indonesia menjadi salah satu tumpuan masa depan dalam pembangunan ekonomi biru yang berkelanjutan. Dalam hal ini, sektor bioteknologi laut dapat menjadi penyumbang utama dalam menerapkan konsep ekonomi biru. Produk-produk berbasis sumberdaya laut yang dihasilkan dari riset dan pengembangan (Risbang) bioteknologi laut akan menjadi keunggulan kompetitif Indonesia.

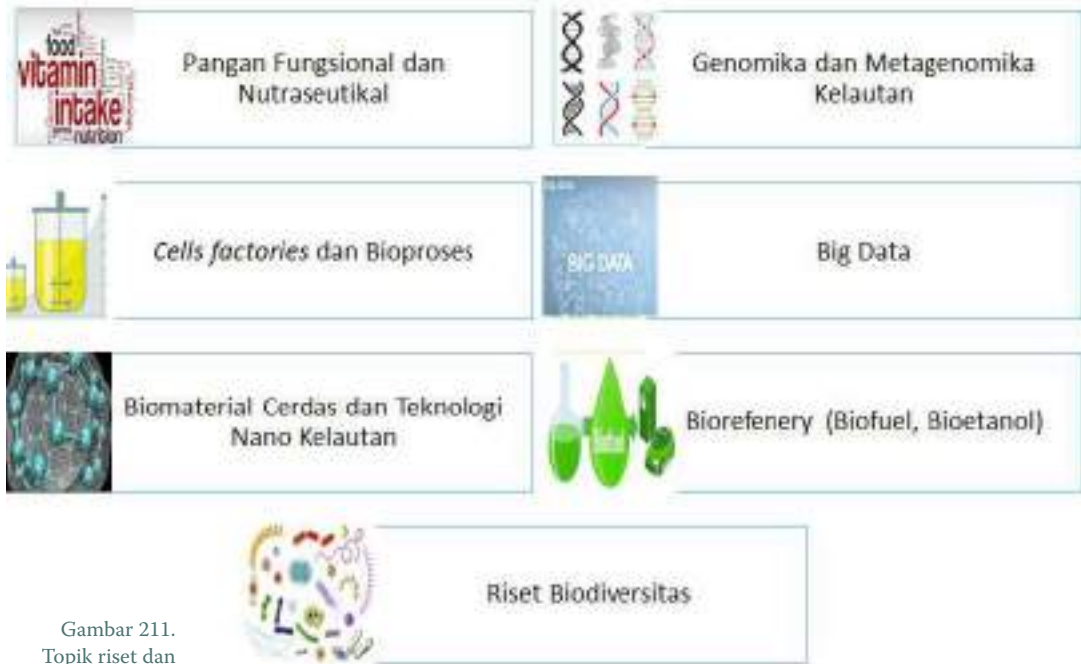
Ada beberapa strategi risbang yang dapat ditempuh untuk mencapai taraf komersial dari kegiatan bioteknologi laut. **Pertama**, kegiatan Risbang untuk menemukan sesuatu yang baru (invensi) perlu terus dilakukan. Kegiatan invensi merupakan pijakan untuk melakukan inovasi dan pengembangan. Dalam konteks ini, invensi, inovasi dan pengembangan dalam bidang bioteknologi laut memerlukan suatu sistem dan "atmosfer

Risbang” yang kondusif. **Kedua**, Risbang bioteknologi laut harus memiliki peta jalan (*roadmap*) yang jelas, bersifat *multiyear*, masuk akal dan memiliki *output* dan *outcome* yang bisa diukur. **Ketiga**, kegiatan *Risbang* perlu dilakukan secara kolaboratif dan bersifat multidisiplin sehingga keluaran riset yang dihasilkan memiliki dampak yang kuat baik dari sisi akademik maupun dari sisi komersialisasi. **Keempat**, karena riset bioteknologi laut bertujuan untuk menghasilkan barang dan jasa yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi maka risbang yang dilakukan sebaiknya bersifat *product oriented research* dan *industry oriented research*. Dalam konteks ini, sinergi antara peneliti (*academics*), pelaku usaha (*business*), pemerintah (*government*) dan masyarakat (*community*) atau disingkat *ABGC concept* menjadi hal yang sangat penting (Gambar 210).



Gambar 210.
Strategi riset dan pengembangan bioteknologi laut

Sebagai negara yang memiliki sumber keanekaragaman hayati yang besar, seharusnya banyak bidang riset dan pengembangan yang dapat dilakukan. Secara garis besar terdapat 7 (tujuh) bidang bioteknologi laut yang perlu mendapat perhatian. Pertama, bidang pangan fungsional dan nutrasetikal. Laut merupakan *reservoir* pangan yang memiliki kandungan bahan aktif yang bermanfaat untuk kesehatan. Kebutuhan akan pangan sehat dan memiliki fungsi dan manfaat khusus selain sebagai sumber nutrisi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi global.



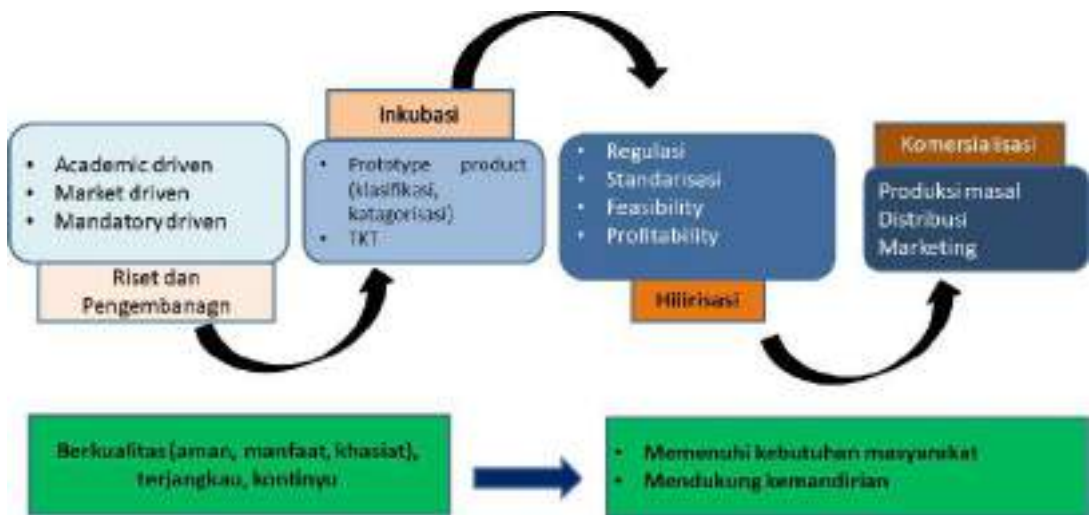
Gambar 211. Topik riset dan pengembangan bioteknologi kelautan dan perikanan (diolah dari berbagai sumber)

Kedua, *cell factories* dan bioproses organisme laut untuk menghasilkan produk-produk bioteknologi seperti karotenoid, biomassa sel, peptida aktif, asam lemak omega-3, kitin dan lain-lain. *Cell factories* dilakukan dengan kultivasi makro dan mikroalga dalam kondisi yang optimum sedangkan bioproses dilakukan secara enzimatik menggunakan bahan baku dari laut seperti ikan, udang, kerang-kerangan termasuk limbahnya.

Ketiga, *marine genomics* dan *metagenomics*. Bidang ini berkembang pesat sebagai tools untuk menambang (*mining*) potensi senyawa bioaktif dan biokatalis dari laut. Dengan sumber daya laut Indonesia yang luar biasa, baru sebagian kecil yang telah dipelajari potensinya. Sumber daya hayati tersebut, terutama mikroba, adalah sumber yang hampir tidak terbatas untuk penemuan senyawa bioaktif dan biokatalis baru yang memiliki manfaat besar dalam kehidupan.

Keempat, *big data* bioteknologi kelautan. Salah satu di dalamnya bidang ini menjadi sangat strategis sebagai sumber informasi senyawa aktif, gen, protein, dan spesies yang tersimpan dalam *data base* secara *online*.

Kelima, bidang biomaterial cerdas dan teknologi nano. *Discovery biomaterial* dari biota laut Indonesia dipadukan dengan aplikasi teknologi nano yang semakin berkembang membuat Indonesia memiliki keunggulan komparatif dan kompetitif jika bisa menggali potensi tersebut. *Smart biomaterial* dan *nano technology* memiliki aplikasi yang luas dalam bidang teknologi obat dan kesehatan.



Keenam, *bioferenery* untuk menghasilkan produk-produk bernilai tinggi seperti bioetanol, *biofuel* dan asam-asam organik, pupuk dan lain-lain. Kegiatan ini terutama bersumber dari bahan baku mikroalga dan makroalga.

Ketujuh, *biodiversity based research*. Bidang ini sangat penting karena biodiversitas laut Indonesia adalah salah satu yang tertinggi di dunia. Kegiatan ini menjadi database potensi keanekaragaman hayati laut Indonesia mulai dari tingkat senyawa, gen, spesies dan ekosistem.

Gambar 212. Skema proses hilirisasi inovasi produk kelautan berbasis bioteknologi. Keterangan : TKT (tingkat kesiapan teknologi)

2009. Alien terrestrial invertebrates of Europe. In Handbook of alien species in Europe (pp. 63-79). Springer, Dordrecht.
- . 2014. Marine Turtles of the World. Zoology Vertebrate Course Birmingham, AL: University of Alabama at Birmingham (UAB).
- Abensperg-Traun, M., 2009. CITES, sustainable use of wild species and incentive-driven conservation in developing countries, with an emphasis on southern Africa. *Biological Conservation*, 142(5), pp.948-963.
- Abreu-Grobois A, Plotkin P. 2008. *Lepidochelys olivacea*. (1 June 2019).
- Albasri, H. 2018. Integrated Site Suitability and Carrying Capacity Assessment for SmallScale Finfish Net Cage Mariculture in Marine Protected Areas, Indonesia. UNSW.
- Albasri, H., Sugama, K., Thesiana, L. & Koesharyati, I. 2019. Kajian alih fungsi HSR/ Perbenihan untuk tambak udang supra-intensif sebagai bahan kebijakan untuk menyusun PERDA Kampung Perbenihan Ikan Bandeng dan Kerapu yang Berkelanjutan In: PERIKANAN, P. R. (ed.). Jakarta: Bada Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan
- Albert, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Robert, K., & Walter, P. 2014. *Essential Cell Biology*. 4th Edition. Garland Science, Taylor & Francis Group, LLC, New York. USA. 863 p.
- Alemendah. 2011. Mengenal CITES dan Apendiks CITES
- Alfaro-Shigueto J, Dutton PH, Bressemer MV, Mangel J. 2007. Interactions between leatherback turtles and Peruvian artisanal fisheries. *Chelonian Conservation and Biology* 6:129-134.
- Allen, G.R., Erdmann, M.V., 2009. Reef fishes of the Bird's Head Peninsula, West Papua, Indonesia. *Check List* 5, 587-628.
- Allen, G.R., Erdmann, M.V., 2012. Reef Fishes of the East Indies. Volumes I-III. *Tropical Reef Research*, Perth.
- Amend, A., Burgaud, G., Cunliffe, M., Edgcomb, Virginia P., Ettinger, C. L., Gutiérrez, M. H. and Heitman, Joseph and Hom, Erik F. Y. and Ianiri, Giuseppe and Jones, Adam C. and Kagami, Maiko and Picard, Kathryn T. and Quandt, C. Alisha and Raghukumar, Seshagiri and Riquelme, Mertixell and Stajich, Jason and Vargas-Muñiz, José and Walker, Allison K. and Yarden, Oded and Gladfelder, Amy S. and Garsin, Danielle A. 2019. Fungi in the Marine Environment: Open Questions and Unsolved Problems. *mBio* 10(2): e01189-18. doi:10.1128/mBio.01189-18
- Angka, S.L., & Suhartono, M.T. 2000. *Bioteknologi Hasil Laut*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Institut Pertanian Bogor. Cetakan 1. 149 hal.
- APRI [Asosiasi Pengelola Rajungan Indonesia]. 2014. Stock Assessment, Fisheries and Environment Parameters for BSC (*Portunus pelagicus*) in the Java Sea. Research Report. Jakarta.
- APRI [Asosiasi Pengelola Rajungan Indonesia]. 2016. Stock Assessment, Fisheries and Environment Parameters for BSC (*Portunus pelagicus*) in the Java Sea. Research Report. Jakarta.
- Arifin, O.Z., At-thar, M.H.F. and Nafiqoh, N., 2017, March. Pengaruh induk dan heterosis karakter pertumbuhan hasil persilangan intraspesifik gurame bastar dan bluesafir (*Osphronemus gouramy*). In *Prosiding forum inovasi teknologi akuakultur* (Vol. 1, No. 1, pp. 703-709).

- Azidah A., F. Wandani, N.C Widyanto, Annisa, R.M Al-Wira'i, M.I Tuharea, I.G Prabowo, H. Triyono, I.N Suyasa, M.H Edy, Ilham, Kadarusman. 2017. Poster. Status Ikan Hias Indonesia: Diversitas, konservasi, perdagangan dan pengelolannya. Dipresentasikan pada Simposium Nasional Ikan dan Perikanan, Masyarakat Iktiologi Indonesia. Bogor.
- BADAN PERENCANAAN PEMBANGUNAN NASIONAL (BAPPENAS). 1993. Biodiversity Action Plan for Indonesia. Ministry of National Development Planning/National Development Planning Agency. Jakarta.
- Bailey H, Benson SR, Shillinger GL, Bograd SJ, Dutton PH, Eckert SA, Morreale SJ, Paladino FV, Eguchi T, Foley DG. 2012. Identification of distinct movement patterns in Pacific leatherback turtle populations influenced by ocean conditions. *Ecological Applications* 22:735-747.
- Bajpai, D., & Tyagi, V.K. 2006. Biodiesel: Source, Production, Composition, Properties and Its Benefits. *Journal of Oleo Science*. 55(10): 4487-502.
- Bajpai, S. dan Gingerich, P.D., 1998. A new Eocene archaeocete (Mammalia, Cetacea) from India and the time of origin of whales. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(26), pp.15464-15468.
- Balcazar, J. L., De Blas, I., Ruiz-Zarzuela, I., Cunningham, D., Vendrel, D. & Muzquiz, J. L. 2006. The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary microbiology*, 114, 173-186.
- Balitbang KP. 2010. Iptek Untuk Kesejahteraan Masyarakat Kelautan dan Perikanan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. Kementerian dan Kelautan dan Perikanan. ISBN: 978-979-3639-18-0. 241 hal.
- Bangun, O.V dan Pahlawan, I. 2014. Efektivitas Cites (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) Dalam Mengatur Perdagangan Hiu Di Kawasan Coral Triangel (Implementasi Di Indonesia). *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Riau* 1.2
- Bao, M., Huo, L., Wu, J., Ge, D., Lv, Z., Chi, C., ... & Liu, H. (2018). A Novel Biomarker For Marine Environmental Pollution Of CAT From *Mytilus Coruscus*. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 717-725
- BAPPENAS 2014. Kajian Strategi Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan, Jakarta, Kementerian PPN/ Bappenas.
- Barre, S.L., & Bates, S. 2018. *Blue Biotechnology: Production and Use of Marine Molecules*. Wiley-VCH, Germany. 939 hal.
- Bartley, D., Rana, K. & Immink, A. 2000. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10, 325-337.
- Beamont, A.R. & Hoare, K. 2003. *Biotechnology and Genetics in Fisheries and Aquaculture*. Blackwell Science Ltd. USA. 173 hal.
- Benson S, Eguchi T, Foley DG, Forney KA, Bailey H, Hitipeuw C, Samber BP, Tapilatu RF, Rei V, Ramohia P. 2011. Large scale movements and highuse areas of western Pacific leatherback turtles, *Dermodochelys coriacea*. *Ecosphere* 2:1-27.
- Belitz, H-D., Grosch, W., & Schieberle, P. 2004. *Food Chemistry* 4th Edition. Springer. DOI: 10.1007/978-3-540-69934-7.
- Benson S, Tapilatu R, Pilcher N, Tomillo P, Sarti Martinez L. 2015. Leatherback Turtle Populations in the Pacific Ocean in Spotila JR, Tomillo PS, eds. *The Leatherback Turtle Biology and Conservation*. Baltimore: John Hopkins University (JHU) Press.

- Beolens B, Watkins M, Grayson M. 2011. The Eponym Dictionary of Reptiles. Pages 139. Baltimore: John Hopkins University (JHU) Press.
- Berson, D.S.; Cohen, J.L.; Rendon, M.I.; Roberts, W.E.; Starker, I.; Wang, B. Clinical role and application of superficial chemical peels in today's practice. *J. Drugs Dermatol.* 2009, 8, 803–911.
- Bhaskar S. 1985. Mass nesting by leatherbacks in Irian Jaya Jakarta: World Wildlife Fund-Indonesia. Report no.
- BIG. 2018. Rujukan nasional data kewilayahan Indonesia. Jakarta: Badan Informasi Geospasial dan Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL.
- Bixler, H.J. & Porse, H. 2010. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology.* 23: 321-335
- BKIPM, KKP. 2014. Daftar Pisces yang berpotensi sebagai spesies asing invasif di Indonesia.
- Bordbar, S., Anwar, F., & Saari, N. 2011. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods--a review. *Marine drugs*, 9(10), 1761–1805. doi:10.3390/md9101761
- Bordbar, S., Anwar, F., and Saari, N. 2011. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods. *Mar Drugs.* 9:1761–1805.
- Borit and Olsen. 2012. Evaluation framework for regulatory requirements related to data recording and traceability designed to prevent illegal, unreported and unregulated fishing. *Marine policy* 36:96-102
- Bouchet, P. 2006. The magnitude of marine biodiversity, in: Duarte, C. (Ed.) 2006. The exploration of marine biodiversity: scientific and technological challenges. pp. 31-62.
- Boyer, M.C., Muhlfeld, C.C. and Allendorf, F.W., 2008. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) invasion and the spread of hybridization with native westslope cutthroat trout (*Oncorhynchus clarkii lewisi*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(4), pp.658-669.
- Briggs, J.C. 1995. *Global Biogeography*. Amsterdam: Elsevier.
- Brunskill, G.J., Zagorskis, I., Pfitzner, J., Ellison, J., 2004. Sediment and trace element depositional history from the Ajkwa River estuarine mangroves of Irian Jaya (West Papua), Indonesia. *Continental Shelf Research* 24, 2535–2551.
- Burke, L., Reyntar, K., Spalding, M., and Perry, A. 2011. *Reefs at Risk Revisited*. Washington, D.C: WRI.Castilla, J. C., Manriquez,
- Camhi, M.D., Valenti, S.V., Fordham, S.V., Fowler, S.L. and Gibson, C., 2009. The conservation status of pelagic sharks and rays: report of the IUCN shark specialist group pelagic shark red list workshop. IUCN Species Survival Commission Shark Specialist Group. Newbury, UK. x+ 78p.
- Cervino, J.M., Thompson, F.L., Gomez-Gil, B., *et al.*, 2008. The *Vibrio* core group induces yellow band disease in Caribbean and Indo-Pacific reef-building corals. *J Appl Microbiol.* 105:1658–1671.
- Chandia, N.P., & Matsuhira, B. 2008. Characterization of a fucoidan from *Lessonia vadosa* (Phaeophyta) and its anticoagulant and elicitor properties. *Int J Biol Macromol.* 42(3):235-40.
- Chaloupka M, Limpus C, Miller J. 2004. Green turtle somatic growth dynamics in a spatially disjunct Great Barrier Reef metapopulation. *Coral Reefs* 23:325-335.
- Chapman, F. A., Fitz-Coy, S., Thunberg, E., Rodrick, J. T., Adams, C. M., & Abdre, M. 1994. An analysis of the United States of America international trade in ornamental fish. Project Final Report. Department of Fisheries and Aquatic Sciences and Food and Resource Economics Department, University of Florida. 16p.

- Chew, K.W., Yap, J.Y., Show, P.L., Suan, N.H., Juan, J.C., Ling, T.C., Lee, D-J., & Chang, J-S. (2017). Microalgae biorefinery: high value products perspectives. *Bioresources Technology*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.006>
- Cinzia Corinaldesi, Giulio Barone, Francesca Marcellini, Antonio Dell'Anno, and Roberto Danovaro. 2017. Marine Microbial-Derived Molecules and Their Potential Use in Cosmeceutical and Cosmetic Products. *Mar. Drugs* 2017, 15, 118; doi:10.3390/md15040118.
- Cogger H. 2014. *Reptiles and amphibians of Australia*. Csiro publishing.
- Cole, Andrew; Pratchett, Morgan; Jones, Geoffrey 2008. "Diversity and functional importance of coral-feeding fishes on tropical coral reefs". *Fish and Fisheries*. 9 (3): 286–307. doi:10.1111/j.1467-2979.2008.00290.x
- Cole, M., Webb, H., Lindeque, P. K., Fileman, E. S., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2014). Isolation Of Microplastics In Biota-Rich Seawater Samples And Marine Organisms. *Scientific reports*, 4, 4528.
- Coleman A. 2016. Population Ecology and Rehabilitation of Accidentally Captured Kemp's Ridley Sea Turtles (*Lepidochelys kempii*) in the Mississippi Sound, USA. *Herpetological Conservation and Biology* 11:253-264.
- Conant R. 1975. *A Field Guide to Reptiles and Amphibians of Eastern and Central North America*. Pages 75-76. Bosto: Houghton Mifflin.
- Coral Triangle Initiative, 2009. *Regional Plan of Action on Coral Triangle Initiative on Coral Reefs, Fisheries and Food Security*. Interim Regional CTI Secretariat, Indonesia.
- Cordova, M. R. & Wahyudi, A. 2016. Microplastic in the deep-sea sediment of southwestern Sumatera waters. *Marine Research in Indonesia*, 41, 27-35.
- Cordova, M. R., Hadi, T. A. & Prayudha, B. 2018. Occurrence and abundance of microplastics in coral reef sediment: a case study in Sekotong, Lombok-Indonesia.
- Coyne, M., A. M. Landry Jr, and P. T. Plotkin. 2007. Population sex ratios, and its impact on population models. *Biology and conservation of Ridley sea turtles*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD:191-211.
- Cragg, G.M. & Newman, D.J. 2004. "Marine natural products and related compounds in clinical and advanced preclinical trials". *Journal of Natural Products*. 67 (8): 1216–1238. doi:10.1021/np040031y. PMID 15332835.
- Cuevas, C., Pérez, M., Martín, M.J., Chicharro, J.L., Fernández-Rivas, C., Flores, M., *et al.* 2000. Synthesis of Ecteinascidin ET-743 and Phthalascidin Pt-650 from Cyanosafraicin B. *Org. Lett.* 2 (16): 2545-2548
- Cuevas, C; *et al.* 2000. "Synthesis of ecteinascidin ET-743 and phthalascidin PT-650 from cyanosafraicin B". *Org. Lett.* 2 (16): 2545–2548. doi:10.1021/ol0062502. PMID 10956543.
- Dahrudin, H. 2011. Ikan Botia : Maskotnya Ekspor Ikan Hias Asli Indonesia. *Jurnal Fauna Indonesia*, 10 (1) : 17–21
- Den Hartog, C. 1970. "Sea grasses of the world" North Holland Publishing c o . , Amsterdam, London pp. 272 .
- Dewantoro, G. W. & Rachmatika, I. 2016. Jenis Ikan Introduksi dan Invasif Asing di Indonesia. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- Dinerstein, E .2013. *The Kingdom of Rarities* Island Press.
- Diniah, Monintja DR, Ardianto A. 2006. Teknologi Rumpon Laut Dalam sebagai Alat Bantu Pemanfaatan Sumberdaya Cakalang. Di dalam: Sondita MFA, Solihin I, editor. *Buku Kumpulan Pemikiran Teknologi Perikanan Tangkap yang Bertanggungjawab*. Bogor: FPIK IPB

- Dolorosa, M.T., Nurjanah, Purwaningsih, S., Anwar, E., & Hidayat, T. 2017. Kandungan Senyawa Bioaktif Bubur Rumput laut *Sargassum plagyophylum* dan *Euchemia cottonii* Sebagai bahan Baku Krim Pencerah Kulit. *JPHPI*. 20(3): 633-644.
- Doutrelant C., P.K.McGregor. 2000. Behaviour. Eavesdropping and mate choice in female fighting fish, 137, 1655-1669
- Draget, K.I., Smidsprød, O and Skjak-Brack, G. 2005. Alginates from Algae. In: Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry, Properties, Production and Patents. (Eds.) Steinbüchel, A and Rhee, S.K. Wiley_VCH Verlag Gmbh and Co, Weinheim. P.30.
- Draget, K.I. 2000. Alginates. In: Handbook of Hydrocolloids. Phillips, G.O & Williams, P.A. (Eds.). CRC Press. 379-395.
- Eckert KL. 1993. The biology and population status of marine turtles in the North Pacific Ocean. Pages 156, NOAA Tech. Memo. NMFS-SWFSC-186.
- Eckert S, Eckert K, Ponganis P, Kooyman G. 1989. Diving and foraging behavior of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*). *Canadian Journal of Zoology* 67:2834-2840.
- Edwards, P. & Demaine, H. 1997. Rural aquaculture: overview and framework for country reviews. RAP Publication FAO.
- Ellis R. 2003. *The Empty Ocean: Plundering the World's Marine Life*. Island Press.
- Ellis, J.T., & Miller, C.D. 2016. Fuel Alcohols from Microalgae. In *Algae Biotechnology, Green Energy and Technology*. Bux, F & Christy, C. (Eds.) Springer International Publishing Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-319-12334-9_8.
- Emerciano, M., Gaxiola, G. & Cuzon, G. 2013. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry.
- Emerging Strategies and Integrated Systems Microbiology. 2014. Technologies for Biodiscovery of Marine Bioactive Compounds. Javier Rocha-Martin, Catriona Harrington, Alan D.W. Dobson, and Fergal O'Gara. *Mar. Drugs* 2014, 12, 3516-3559; doi:10.3390/md12063516.
- Ernst C, Barbour R, Lovich J. 1994. *Turtles of the United States and Canada*. Smithsonian Institute (SI) Press
- Fahrudin. 2010. *Bioteknologi Lingkungan*. Penerbit Alfabeta Bandung. 187 hal.
- FAO 1995. *Code of Conduct for Responsible Fisheries*. Rome. 41p
- FAO. 2002. *Implementation of the international plan of action to deter, prevent and eliminate illegal, unreported and unregulated fishing*. Rome: FAO Technical Guidelines for responsible Fisheries 9, 122P
- FAO. 2010. *Aquaculture development. 4. Ecosystem approach to aquaculture*.
- FAO. 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018*. Rome: FAO
- FAO. 2010. *Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 4*. Rome: FAO.
- FAO 2017. *Microplastics in fisheries and aquaculture*. In: Lusher, A., Hollman, P. & Mendoza, J. (eds.) *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper (FAO) eng no. 615*.
- FAO 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018*. Rome: FAO.
- FAO 2019. *Fisheries and aquaculture software. FishStat Plus - Universal software for fishery statistical time series*. Updated 14 September 2017. Rome. [disitasi 23 Desember 2019]
- FAO. *Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 4*. Rome: FAO.
- Fendall, L. S., & Sewell, M. A. 2009. *Contributing To Marine Pollution By Washing Your Face: Microplastics In Facial Cleansers*. *Marine pollution bulletin*, 58(8), 1225-1228.

- Ferse, S.C., Knittweis, L., Krause, G., Maddusila, A. and Glaser, M., 2012. Livelihoods of ornamental coral fishermen in South Sulawesi/Indonesia: implications for management. *Coastal Management*, 40(5), pp.525-555.
- Fichter G. 1982. *Poisonous Snakes*. Franklin Watts.
- FMC (Federal Maritime Commission). 2001. *Mastering The Art of Innovative Thinking*SM. P.12. (www.fmcbiopolymer.com). Diakses pada tanggal 5 Juli 2017.
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2016. *FishBase*. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (10/2016).
- Fung, A.Y.C. 2012. *The Fucoxanthin Content and Antioxidant Properties of Undaria pinnatifida from Marlborough Sound, New Zealand*. A Thesis. Auckland University of Technology University. 78 pp.
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2019. *FishBase*. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (04/2019).
- Galasso, C., Corinaldesi, C., & Sansone, C. 2017. Carotenoids from Marine Organisms: Biological Functions and Industrial Application. *Antioxidants*. 6(96). doi:10.3390/antiox6040096
- Gall, S. C., & Thompson, R. C. 2015. The Impact Of Debris On Marine Life. *Marine pollution bulletin*, 92(1-2), 170-179.
- Gardner, S.G., Camp, E.F., Smith, D.J., Voolstra, C.R., Kahlke, T., Osman, E.O., *et al.* 2019. Coral microbiome diversity reflects mass coral bleaching susceptibility during the 2016 El Niño heat wave. *Ecol Evol*. 9:938–956.
- Gaspar P, Benson SR, Dutton PH, Réveillère A, Jacob G, Meeto C, Dehecq A, Fossette S. 2012. Oceanic dispersal of juvenile leatherback turtles: Going beyond passive drift modeling. *Marine Ecology Progress Series* 457:265.
- Glick, B.R., Pasternak, J.J., & Patten, C.L. 2010. *Molecular Biotechnology: Principles and Application of Recombinant DNA*. 4th Edition. ASM Press, Wahington, DC. 20036-2904. 1020 p.
- Gran, H. H.1912. Pelagic plant life. p. 307–386 in Murray and Hjort, *Depths of the Ocean*. London, Macmillan, 821 pp., 1912.
- Green, A.L., Mous, P.J., 2008. *Delineating the Coral Triangle, Its Ecoregions and Functional Seascapes*. Version 5.0. Report1/08. The Nature Conservancy, Bali.
- Green, B.S., Pederson, H. and Gardner, C., 2013. Overlap of home ranges of resident and introduced southern rock lobster after translocation. *Reviews in Fisheries Science*, 21(3-4), pp.258-266.
- Griffiths, M., Harrison, S.T.L., Smit, M., & Maharajh, D. 2016. Fuel Alcohols from Microalgae. In *Algae Biotechnology, Green Energy and Technology*. Bux, F & Christy, C. (Eds.) Springer International Publishing Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-319-12334-9_8
- Guedes, A.C., Amaro, H.M., Malcata, F.X. 2011. Microalgae as Sources of Carotenoid. *Marine Drugs*. 9: 625-644. doi:10.3390/md9040625.
- Gunn, R.G., Whear, R.L. and Douglas, L.C., 2012. Dating the present at Nawarla Gabarnmang: Time and function in the art of a major Jawoyn rock art and occupation site in western Arnhem Land. *Australian Archaeology*, 75(1), pp.55-65.
- H Amirulloh, S., F Setiawan, J., L Budiarti, N., D B Diningrum, T., Afranisa, Z., H Putri, F., A Yuana, L., Tadeo, W., Setiawan, F., M Qurani, S., Gaffar, A., Prasetyo, A., Putra, A., Munazir, A., P Mollen, A., Erdiyanto, B., J Syahida, C., Angela, C., Adilwiweko, D.-R. & PH.D, K. 2018. Mikropplastik pada ikan konsumsi di Teluk Banten: Suatu ancaman besar bagi kelangsungan iktiodiversitas dan perikanan.

- Handayani, T. 2014. Rumput laut sebagai sumber polisakarida bioaktif. *Oseana*. XXXIX(2): 1-11.
- Hirst, A.G., Rodhouse, P.G., 2000. Impacts of geophysical seismic surveying on fishing success. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 10, 113–118.
- Hitipeuw C, Dutton PH, Benson S, Thebu J, Bakarbesy J. 2007. Population status and interesting movement of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, nesting on the northwest coast of Papua, Indonesia. *Chelonian Conservation and Biology* 6:28-36.
- Holdt, S.L., & Kraan, S., 2011. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.* 23: 543–597. Doi:10.1007/s10811-010- 9632-5.
- Hossain, M. Y., Jasmine, S., Ibrahim, A. H. M., Ahmed, Z. F., Rahman, M. M., & Ohtomi, J. 2009. Length–weight and length–length relationships of 10 small fish species from the Ganges, Bangladesh. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(1), 117-119.
- Hossain, M. Y., Jasmine, S., Ibrahim, A. H. M., Ahmed, Z. F., Rahman, M. M., & Ohtomi, J. 2009. Length–weight and length–length relationships of 10 small fish species from
- Howes J, Bakwell D, Noor YR. 2003. *Panduan Studi Burung Pantai*. Bogor: Wetlands International-Indonesia Programme.
- Hung C.-C., Ko F.-C., Gong G.-C., Chen K.-S., Wu J.-M., Chiang H.-L., Peng S.-C., Santschi P.H. 2014. Increased zooplankton PAH concentrations across hydrographic fronts in the East China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 83 (1), pp. 248-257.
- In: FAO (ed.).
- Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan (IBSAP). 2015. *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan 2015-2020*. BAPPENAS, KLHK, LIPI.
- Jamaksari H. 2011. *Keanekaragaman Burung Pantai Pada Berbagai Tipe Habitat Lahan Basah di Kawasan Muara Cimanuk, Jawa Barat*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Jane Hubert, Jean-Marc Nuzillard, Jean-Hugues Renault. 2015. Dereplication strategies in natural product research: How many tools and methodologies behind the same concept? *Phytochem Rev*. Noemeber 2015. DOI 10.1007/s11101-015-9448-7.
- Jaswir, I., Noviendri, D., Salleh, H. M., Taher, M., Mohammed, F., and Miyashita, K. 2013. Analysis of Fucoxanthin Content and Purification of All-Trans-Fucoxanthin from *Turbinaria turbinata* and *Sargassum plagyophyllum* by SiO₂ Open Column Chromatography and Reversed Phase-HPLC. *J. Liq. Chrom. Rel. Technol.* 36: 1340-1354.
- Jaswir, I., Noviendri, D., Salleh, H.M., Miyashita, K. 2012a. Fucoxanthin extractions of brown seaweeds and analysis of their lipid fraction in methanol. *Food Sci. Technol. Res.*, 18(2): 251 – 257.
- Jaswir, I., Noviendri, D., Salleh, H.M., Taher, M. and Miyashita. 2011a. Isolation of fucoxanthin and fatty acids analysis of *Padina australis* and cytotoxic effect of fucoxanthin on human lung cancer (H1299) cell lines. *African Journal of Biotechnology*, 10(81): 18855-18862.
- Jaswir, I., Noviendri, D., Salleh, M.T., Miyashita, K. 2011b. *Experimental methods in Modern Biotechnology engineering*. Chapter 5: Techniques of Extraction and Purification of Fucoxanthin from Brown Seaweeds. (Eds.) Noorbatcha, I.A, Karim, M.I.A, and Salleh, H.M. IJUM Press. First Edition. 2011. ISBN: 978-067-0225-86-9.
- Jayanto, B. B., Rosyid, A., Boesono, H., & Kurohman, F. 2015. Pengaruh Pemberian Warna Pada Bingkai Dan Badan Jaring Krendet Terhadap Hasil Tangkapan Lobster di Perairan Wonogiri (Effect of Krendet webbing and frame colouring towards fishing captured for Spiny Lobster in Wonogiri seawaters). *Jurnal Saintek Perikanan*, 10(2), 68-73

- Johanna Silber, Annemarie Kramer, Antje Labes, & Deniz Tasdemir. 2016. From Discovery to Production: Biotechnology of Marine Fungi for the Production of New Antibiotics. *Mar. Drugs* 2016, 14, 137; doi:10.3390/md14070137.
- Jones, B., Shimlock, M., Erdmann, M.V., Allen, G.R., 2011. Diving Indonesia's Bird's Head Seascape. Conservation International, Bali.
- Jones, C. M. 2010. Tropical spiny lobster aquaculture development in Vietnam, Indonesia and Australia. *J. Mar. Biol. Ass. India*, 52(2), 304-315
- Jothisarawathi, S., Babu, B., & Rengasamy R. 2006. Seasonal studies on alginate and its composition II: *Turbinaria conoides* (J.Ag.) Kutz. (Fucales, Phaeophyceae). *J Appl Phycol.* 18(2):161–166.
- Kaczor, A., Baranska, M., & Czamara, K. 2016. Carotenoids: Overview of Nomenclature, Structures, Occurrence, and Functions. Ch. 1. In: Kaczor, A., & Baranska, M (Eds.). 1st Edition. *Carotenoids: Nutrition, analysis and technology*. Wiley Blackwell. John Wiley & Son, Ltd. 402 p.
- Kadariusman, N. Hubert, R.K Hadiaty, Sudarto, E. Paradis and L. Pouyaud. 2012. Extensive cryptic diversity in Indo-Australian rainbowfishes revealed by DNA Barcoding: implications for conservation and management in a biodiversity hotspot candidate. *PLoS ONE*. 7(7).
- Kadi, A., & Atmadja, W.S. 1988. Rumput Laut (algae): Jenis, reproduksi, produksi, budidaya dan pascapanen. Puslitbang Oseanologi-LIPI. Jakarta.
- Kanase & Singh 2018: Marine pharmacology: Potential, challenges, and future in India, *Journal of Medical Sciences*, 38 (2) : 49 – 53.
- Kariza M. Puspita, Cici Maulida, Yoga Tanda Putra, Guruh P. Adi, Leo Saksono, Nita Habibah, Triranti K. Putri, Hendra Irawan, Ita J. P. Dewi, Ratna Suharti, Mira Maulita, Kadariusman. 2018. Widespread microplastics ingestion by marine fishes: Emerging threats to ichthyodiversity and fisheries. Poster research program iCoplease 2018, group Microplastics. Program Studi Teknologi Pengelolaan Sumber daya Perairan,
- Kasa, T., & Gebrewold, F. 2017. Chemistry of Biodiesel and Its Environmental Impact: A Review Article. *Journal of Energy Technologies and Policy*. 7(2): 58-66.
- Kaufman L. 2010. Gulf Oil Again Imperils Sea Turtles. *The New York Times*. New York, USA: The New York Times.
- Kay, R.A. 1991. Microalgae as food and supplement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 30(6): 555-573. <http://dx.doi.org/10.1080/10408399109527556>.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2013. Deskripsi Peta Ekoregion Laut Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup, Deputi Tata Lingkungan, Jakarta. Indonesia
- Kendall A.W, Ahlstrom E.H., and Moser H.G. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special publication 1*: 11–22.
- Kerkhoff, L.v. and Lebel, L. 2006. "Linking Knowledge and Action for Sustainable Development". *Annual Review of Environment and Resources Volume 31* .
- Kim SK. 2012. *Marine Cosmeuticlas, Trend and Prospect*. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.
- Kim, S-K., & Bhatnagar, I. 2012. Screening Strategies for the Discovery of Marine Microbial Cosmetics. Ch. 22. In: Kim, S-K (Ed.). *Marine Cosmeceuticals Trends and Prospects*. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. 414 p.
- KKP 2015. Performance Report (LAKIP) of the Ministry of Marine Affairs and Fisheries 2014. In: MMAF (ed.). Jakarta: MMAF.

- Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., 1999. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28, 182–187.
- Kolar, C. S., & Lodge, D. M. 2001. Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends in ecology & evolution*, 16(4), 199-204.
- Kolkovski, S. 2013. Microdiets as alternatives to live feeds for fish larvae in aquaculture: Improving the efficiency of feed particle utilization.
- Kusrini, E. 2010. Budidaya Ikan Hias Sebagai Pendukung Pembangunan Nasional Perikanan Di Indonesia. *Media Akuakultur*, 5(2), 109-114.
- Kusrini, E. 2010. Budidaya Ikan Hias Sebagai Pendukung Pembangunan Nasional Perikanan Di Indonesia. *Media Akuakultur*, 5(2), 109-114.
- Laporan Kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2018, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Laporan riset Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), 2018, Status Terkini Terumbu Karang Indonesia 2018, website: <http://lipi.go.id/siaranpress/lipi:-status--terkini-terumbu-karang-indonesia-2018-/21410>, Jakarta
- Larsen, S.N., Leisher, C, Mangubhai, S, Muljadi, A, and Tapilatu, RF. 2018. Fisher perceptions of threats and fisheries decline in the heart of the Coral Triangle. *Ocean Life* 2 (2): 41-46.
- Levington, J.S. 2014. *Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology*. 4th Ed. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Lichter; et al. Worthen LW (ed.). "Food-drugs from the sea. Proc: Aug 20–23, 1972". 173. *Marine Tech Soc*: 117–127.
- Lidia T.I. Dendo, Aprilia Novitasari, Laksmi D. Mayaningrum, Muhammad Rizky, Ria E.P.S. Malango, Reza A. Prawira, Viranda K.P. Sadia, I Nyoman Suyasa, Priyanto Rahardjo, Heri Triyono, Ilham, dan Ratna Suharti. 2018. Poster. Pengelolaan Berkelanjutan Kepiting Bakau (*Scylla serrata*) di Indonesia. Poster Penelitian Program iCoplease 2018, Grup Crab, Program Studi Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Perairan, Sekolah Tinggi Perikanan, Jakarta.
- Little, D. C., Young, J. A., Zhang, W., Newton, R. W., Al Mamun, A. & Murray, F. J. 2018. Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: A framework for understanding impacts and challenges. *Aquaculture*, 493, 338-354.
- Lichter, W., Wellham, L.L., van der Werf, B.A., Middlebrook, R.E., Sigel, M.M., et al. (1972). Biological activities exerted by extract of *Ecteinascidia turbinata*. in Worthen, L. R., ed. *Food Drugs from the Sea Proceedings*. Washington, DC: Marine Techno. Soc. 117-127.
- Lorenz, T.C. 2012. Polymerase Chain Reaction: Basic Protocol Plus Troubleshooting and Optimization Strategies. *Journal of Visualized Experiments*. 63. e3998. doi:10.3791/3998.
- Laurienzo P. 2018. Marine Polysaccharide and Their Importance for Human Health. Ch. 15. In *Blue Biotechnology: Producton and Use of Marne Molecules* (Eds. Barre, S.L & Bates, S.S). Volume 1. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Germany. 952 p.
- Lymbery, A. J., Morine, M., Kanani, H. G., Beatty, S. J., & Morgan, D. L. (2014). Co-invaders: the effects of alien parasites on native hosts. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 3(2), 171-177.
- Madduppa, H H and Santoso, P and Subhan, B and Anggoro, A W and Cahyani, N K D and Arafat, D. 2019. Different species, life form, and complexity of dead coral head affect the species diversity and density of decapods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 278: 012042

- Mahardika, K., Mastuti, I., Sudewi, S. & Zafran, Z. 2018. Identification and Life Cycle of Marine Leech Isolated from Cultured Hybrid Grouper in The Northern Bali Waters of Indonesia. *Indonesian Aquaculture Journal*, 13, 41-49.
- Mahdiana, A., & Laurensia, S. P. (2010). Status Perikana Lobster (*Panulirus* spp.) di Perairan Kabupaten Cilacap. *Sains Akuatik* 3(2)
- Malczewski, J. 2000. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*, 4, 5.
- Mangubhai, S., Erdmann, MV., Wilson, JR., Huffard, CR., Ballamu., Hidayat, NI., Hitipeuw, C., Lazuardi, ME., Muhajir., Pada, D., Purba, G., Rotinsulu, C., Rumentna, L., Sumolang, K. and Wen Wen. 2012. Papuan Bird's Head Seascape: Emerging threats and challenges in the global center of marine biodiversity. *Marine Pollution Bulletin* 64 (11):2279-2295.
- Mangubhai, S., Muhammed, S., Suprayitno, Muljadi, A., Purwanto, Rhodes, K.L., Tjandra, K., 2011. Do not stop: the importance of seamless monitoring and enforcement in an Indonesian Marine Protected Area. *Journal of Marine Biology*, 1–11 (Article ID 501465).
- Martins, A., Vieira, H., Gaspar, H. and Santos, S. (2014). Marketed marine natural products in the pharmaceutical and cosmeceutical industries: tips for success. *Mar. Drugs* 12, 1066-1101.
- McAllister, Don E. 1998. The Crises in Marine Biodiversity and Key Knowledge. Makalah dipresentasikan pada Pacem in Maribus XXVI, Halifax, Canada, 30 Nopember 1998.
- McCauley, R.D., Fewtreli, J., Duncan, A.J., Jenner, C., Jenner, M.-N., Penrose, J.D., Prince, R.I.T., Adhitya, A., Murdoch, J., McCabe, K., 2000. Marine seismic surveys – a study of environmental implications. *APPEA Journal*, 692–708.
- McGhee, G.R.; Sheehan, P.M.; Bottjer, D.J.; Droser, M.L. (2011). "Ecological ranking of Phanerozoic biodiversity crises: The Serpukhovian (early Carboniferous) crisis had a greater ecological impact than the end-Ordovician". *Geology*. 40 (2): 147–50
- McLeod, E., Moffitt, R., Timmermann, A., Salm, R., Menviel, L., Palmer, M.J., Selig, E.R., Casey, K.S., Bruno, J.F., 2010. Warming seas in the Coral Triangle: coral reef vulnerability and management implications. *Coastal Management* 38, 518–539.
- McLeod, E., Szuster, B. & Salm, R. 2009. Sasi and Marine Conservation in Raja Ampat, Indonesia. *Coastal Management*, 37, 656-676.
- Mehrtens J. 1987. *Living Snakes of the World in Color*. Sterling.
- Menon, V.V. 2012. Seaweed Polysaccharides-Food Applications. Ch. 36. In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. p. 15.
- Mohan, T.C., Raghuramudu, K., Prasad, P.A., Sandya, C.R., Shanthanna, P., & Kumar, P.R. 2017. Algal bio fuel as an alternative energy source: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 5(6): 41-46.
- Mongabay. 2017. Mampukah Indonesia Penuhi Kebutuhan Pakan pada 2019? Mongabay. Jakarta: Mongabay.co.id, diakses 19 November 2019.
- Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G. dan Worm, B., 2011. How many species are there on Earth and in the ocean?. *PLoS biology*, 9(8), p.e1001127.
- Morris, S.C. and Caron, J.B., 2014. A primitive fish from the Cambrian of North America. *Nature*, 512(7515), p.419.
- Morrissey, J.F., Sumich, J.L. and Pinkard-Meier, D.R. 2018. *Introduction to the Biology of Marine Life*. 11th Ed. Jones & Bartlett Learning. Burlington, Massachusetts, USA. 448 p.

- Morrone, J. J. 2009. *Evolutionary biogeography, an integrative approach with case studies*. Columbia University Press, New York.
- Mrosovsky, N., and M. H. Godfrey. 1995. Manipulating sex ratios: turtle speed ahead. *Chelonian conservation and biology* 1:238-240.
- Muawanah, U., HUda, H.M., Koeshenderajana, S., Nugroho, D., Mira, M. and Ghofar, A., 2018. Keberlanjutan Perikanan Rajungan Indonesia: Pendekatan Model Bioekonomi. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 9(2), pp.71-83.
- Mueller GM, Schmit JP 2006. "Fungal biodiversity: what do we know? What can we predict?". *Biodiversity and Conservation*. 16: 1–5. doi:10.1007/s10531-006-9117-7
- Munasinghe, D.H.N., BurrIDGE, C.P. and Austin, C.M., 2004. The systematics of freshwater crayfish of the genus *Cherax* Erichson (Decapoda: Parastacidae) in eastern Australia re-examined using nucleotide sequences from 12S rRNA and 16S rRNA genes. *Invertebrate Systematics*, 18(2), pp.215-225
- Muñoz , L.C., Lima, E.L., Harris, R.E., Mangibar, M.A.L., Contreras, N.A., & Caballero, Á.M.H. 2012. Chemical Properties of Chitosan as a Marine Cosmétique. Ch. 3. In: Kim, S-K (Ed.). *Marine Cosmeceuticals Trends and Prospects*. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. 414 p.
- Nasukha, A., Septory, R., Sudewi, S., Setiadi, A. & Mahardika, K. 2019. Sebaran Temporal Paramater Kimia dan Fisika Perairan Pantai yang Berdekatan dengan beberapa Lokasi Budidaya Laut di Bali Utara. *Jurnal Riset Akuakultur*, 14, 17-27.
- National Marine Fisheries Service. 2013. Recovery Plan for US Pacific Populations of the Olive Ridley Turtle (*Lepidochelys olivacea*). (1 June 2019).
- National Park Service. 2010. Sea Turtle Recovery Project. Report no.
- Neave, M. J., Rachmawati, R., Xun, L., Michell, C. T., Bourne, D. G., Apprill, A., et al. 2017. Differential specificity between closely related corals and abundant *Endozoicomonas* endosymbionts across global scales. *ISME J*. 11: 186–200.
- Newman, D.J. and Cragg, G.M. (2004). Marine natural products and related compounds in clinical and advanced preclinical trials. *J. Nat. Prod.* 67:1216-1238.
- Nicoletti, M. 2016. Microalgae Nutraceuticals. *Foods*. 5(54). doi:10.3390/foods5030054.
- NOAA. 2012. Fish Stock Assessment 101. The US National Oceanographic and Atmospheric Administration. 2 pp
- Noel Vinay Thomas and Se-Kwon Kim. Beneficial Effects of Marine Algal Compounds in Cosmeceuticals. *Mar. Drugs* 2013, 11, 146-164; doi:10.3390/md11010146.
- Noviendri, D., I. Jaswir., H.M. Salleh and Miyashita, K. 2010. Extraction and Purification of Fucoxanthin from Malaysian Brown Seaweeds. *Proceedings of International Annual Symposium on Sustainability Science and Management. UMTAS 2010*, University Malaysia Terengganu (UMT), Malaysia. Vol. 2. pp 600-605.
- Noviendri, D., Jaswir, I., Salleh, H. M., Taher, M., and Miyashita, K. 2011a. Techniques of Extraction and Purification of Carotenoid (Fucoxanthin) from Brown Seaweed. *Workshop on seaweed processing for pharmaceutical applications*. Organized By Bioprocess and Molecular Engineering Research Unit (BPMERU), Department of Biotechnology Engineering, Faculty of Engineering, International Islamic University Malaysia (IIUM). Kuala Lumpur, Malaysia. May 16th, 2011. P. 26. (A manual book).
- Noviendri, D. 2014. Microencapsulation of Fucoxanthin by Water-in-Oil-in-Water (W/O/W) Double Emulsion Solvent Evaporation Method: A Review. *Squalen Bulletin of Marine & Fisheries Postharvest & Biotechnology*, 9(3): 137-150. Okada, T., Nakai, M., Maeda, H., Hosokawa, M., Sashima, T., & Miyashita, K. (2008). Suppressive Effect of Neoxanthin on the Differentiation of 3T3-L1 Adipose Cells. *J. Oleo. Sci.*, 57(6): 345-351.

- Noviendri, D., Sinurat, E., Basmal, J., Subaryono., Munifah, I., Fransiska, D., Fithriani, D., Nurhayati., Fajarningsih, N.D., Darmawan, M., & Chasanah, E. (2017). Penelitian Teknologi Produksi Fukoidan-Alginat dan Fukosantin-Alginat. Laporan Teknis TA. 2017. Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan. 81 hal.
- Noviendri, D., Nursid, M., Wikanta, T., & Chasanah, E. (2016). Teknologi Produksi Pigmen Sifonasantin dari Rumput Laut Hijau. Laporan Teknis TA. 2016. Pusat Penelitian dan Pengembangan Daya Saing Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan. 68 hal.
- Noviendri, D., Nursid, M., Munifah, I., Subaryono., Meilanie, S., & Khatulistiani, T.S. (2018). Riset Teknologi Purifikasi dari Cairan Rumput Laut Merah. Laporan Teknis TA. 2018. Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan. 96 hal.
- Owalabi, R.U., Adejumo, A.L., & Aderibigbe, A.F. 2012. Biodiesel: Fuel for the Future (A Brief Review). *International Journal of Energy Engineering*. 2(5): 223-231. DOI: 10.5923/j.ijee.20120205.06.
- Öz imen, D., Gülyurt, M. Ö., & Inan, B. 2013. Algal Biorefinery for Biodiesel Production. Ch. 2. In: *Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications*. <http://dx.doi.org/10.5772/52679>.
- Palomares, M.L.D., Heymans, J.J., Pauly, D., 2007. Historical ecology of the Raja Ampat Archipelago, Papua Province, Indonesia. *Historical Phil Life Science* 29, 35–56.
- Paola Laurienzo. 2018. Marine Polysaccharide and Their Importance for Human Health. Ch. 15. In *Blue Biotechnology: Production and Use of Marine Molecules* (Eds. Barre, S.L & Bates, S.S). Volume 1. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Germany. 952 p.
- Parker H, Grandison A. 1977. *Snakes - A Natural History*. British Museum (Natural History) and Cornell University Press.
- Pejchar, L., & Mooney, H. A. 2009. Invasif species, ecosystem services and human wellbeing. *Trends in ecology & evolution*, 24(9), 497-504.
- Peng, J., Yuan, J.P., Wu, C.F., and Wang, J.H. 2011. Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: metabolism and bioactivities relevant to human health. *Mar. Drugs*:9: 1806-1828.
- Ramsden I. 2004. *Plant and algal gums and mucilages dalam Chemical and Functional Properties of Food Sachharides*. CRS Press LLC : 247-248.
- Perryman R, Tapilatu R. 2018. Flagship Species for Conservation: Mantas - Leatherbacks. *The Jakarta Post*.
- Peters, C. A., Thomas, P. A., Rieper, K. B., & Bratton, S. P. (2017). Foraging Preferences Influence Microplastic Ingestion By Six Marine Fish Species From The Texas Gulf Coast. *Marine pollution bulletin*, 124(1), 82-88.
- Phillips, M., Henriksson, P., Tran, N., Chan, C., Mohan, C., Rodriguez, U., Suri, S., Hall, S. & Koeshendrajana, S. 2016. *Menjelajahi masa depan perikanan budidaya Indonesia (Exploring Indonesian aquaculture futures)*. Penang, Malaysia: WorldFish. Laporan Program: 2016-02.
- Plotkin P. 2007. *Biology and Conservation of Ridley Sea Turtles*. John Hopkins University (JHU) Press.
- Pogoreutz, C., Rådecker, N., Cárdenas, A., Gärdes, A., Wild, C., Voolstra, C.R. 2018. Dominance of Endozoicomonas bacteria throughout coral bleaching and mortality suggests structural inflexibility of the Pocillopora verrucosa microbiome. *Ecol Evol*. 8:2240–52.
- Poiner, I.R. & G. Roberts.,1986. "A brief review of seagrass studies in Australia. Proc. National conference and Coastal Management. 2, 243-248.

- Prabowo *et al.*, 2017. How much do we know about Indonesian threateaned fishes. Campaign program for conservation of the threateaned species. Sekolah Tinggi Perikanan, Jakarta.
- Prabowo, R. E., & Ardli, E. R. 2010. Inventarisasi Teritip Non-Indigenous yang Menempel pada Ocean Going Vessel di Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap. *Biosfera*, 27(2), 73-81.
- Primack, R.B. 2002. *Essential of Conservation Biology*. 3rdEdition. Sinauer Associates, Inc. Sunderland.
- Pritchard P. 1982. Nesting of the leatherback turtle, *Dermochelys coriacea* in the Pacific Mexico, with a new estimate of the world population status. *Copeia* 1982:741-747.
- Purwono B, Wardhana BS, Wijanarko K, Setyowati E, &Kurniawati DS. 2002. Keanekaragaman Hayati dan Pengendalian Jenis Asing Invasif. Kantor Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia dan The Nature Consevancy. Jakarta.
- Rahardjo, M.F., Sjafei, D.S. and Affandi, R., Sulistiono. 2011. *Iktiology*. Lubuk Agung. Bandung, 396.
- Rachmawati, R. 2018. Differential Coral-Associated Microbiome Responses to Elevated Temperature in Indonesian Waters. Thesis dissertation. The University of California, Los Angeles.
- Rang, R.A. 2011. Production of Asrxanthin from Cultured Green Alga *Haematococcus pluvialis* and its Biological Activities. A PhD Thesis. Department of Biotechnology. University of Mysore, India. 342 p.
- Rapley, R. 2010. Molecular biology, bioinformatics and basic techniques. Ch. 5. In: *Principles and Techniques of Biochemistry and Molecular Biology*. 7th Edition. (Eds. Wilson, K & Walker, J). Cambridge University Press. UK. 761 p.
- Rasmussen A. 2001. *Sea Snakes*. FAO-UN.
- Rastogi, R.P.; Madamwar, D.; Incharoensakdi, A. 2015 Sun-Screening Bioactive Compounds Mycosporine-like Amino Acids in Naturally Occurring Cyanobacterial Biofilms: Role in Photoprotection. *J. Appl. Microbiol.* 119: 753–762.
- Rath CM, *et al.* 2011. "Meta-omic characterization of the marine invertebrate microbial consortium that produces the chemotherapeutic natural product ET-743". *ACS Chemical Biology*. 6 (11): 1244–56. doi:10.1021/cb200244t. PMC 3220770. PMID 21875091.
- Rath, C.M., Janto, B., Earl, J., Ahmed, A., Hu, F.Z., Hiller, L., et al. (2011). Meta-omic Characterization of the Marine Invertebrate Microbial Consortium That Produces the Chemotherapeutic Natural Product ET-743 *ACS Chem. Biol.* 6 (11): 1244-1256.
- Reid, P. Fischer, A. Lewis-Brown, Emily & Meredith, Michael & Sparrow, Mike & J Andersson, Andreas & Antia, Avan & Bates, Nicholas & Bathmann, Ulrich & Beaugrand, Gregory & Brix, Holger & Dye, Stephen & Edwards, Martin & Furevik, Tore & Skaland, Reidun & Hátún, Hjálmar & R Hopcroft, Russell & Kendall, Mike & Kasten, Sabine & Washington, Richard. 2009. Chapter 1 Impacts of the Oceans on Climate Change. *Advances in marine biology*. 56. 1-150. 10.1016/S0065-2881(09)56001-4.
- Resosudarmo, B.P., Jotzo, F., 2009. *Workign with Nature Against Poverty*. Development, Resources and the Environment in Eastern Indonesia. Institute of Southeast Asian Studies, Singapore.
- Richardson, L.L. and Kuta, K.G. 2003. Ecological physiology of the black band disease cyanobacterium *Phormidium corallyticum*. *FEMS Microbiology Ecology* 43:287–298.
- Rimmer, M. A., Sugama, K., Rakhmawati, D., Rofiq, R. & Habgood, R. H. 2013. A review and SWOT analysis of aquaculture development in Indonesia. *Rev. Aquac.*

- Rinehart, K.L., Kishore, V., Bible, K.C., Sakai, R., Sullins, D.W., and K-M Li. (1988). Didemnins and Tunichlorin: Novel Natural Products from the Marine Tunicate *Trididemnum solidum*. *J. Nat. Prod.* 51, 1: 1-21
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. 2015. A Critical Overview Of The Analytical Approaches To The Occurrence, The Fate And The Behavior Of Microplastics In The Environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53
- Roques, A., Rabitsch, W., Rasplus, J. Y., Lopez-Vaamonde, C., Nentwig, W., & Kenis, M.
- Ross, L. G., Telfer, T. C., Falconer, L., Soto, D. & Aguilar-Manjarrez, J. 2013. Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture. FAO/Institute of Aquaculture, University of Stirling, Expert Workshop, 6–8 December 2010. Rome: FAO.
- Rotjan, Randi; Lewis, Sara 2008. "Impacts of coral predators on tropical reefs". *Mar Ecol Prog Ser.* 367: 73–91. doi:10.3354/meps07531
- Rubio, N., Beltrán, S., Jaime, I., Diego, S. M., Sanz, M. T., & Carballido, J. R. (2010). Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: a review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(1), 1-12.
- Saba V, Stock C, Spotila J, Paladino F, Tomillo P. 2012. Projected response of an endangered marine turtle population to climate change. *Nature Climate Change* 2:814-820.
- Sadovy, Y., Liu, M., 2004. Report on the Current Status and Exploitation History of Reef Fish Spawning Aggregations in Eastern Indonesia. University of Hong Kong, Hong Kong.
- Saenger P.E.J Hegrel and J.D.S. Da Vie, 1983, Global Status of Mangrove Ecosystem. By the working group on mangrove ecosystems on the IUCN Commission on Ecology. *The environmentalist*, Vol. 3 Supplement No. P 88
- Salm R. 1982. Terengganu meets competition: does Irian Jaya harbour southeast Asia's densest leatherback nesting beaches. *Marine Turtle Newsletter* 20:10-11.
- Salm, R. V., and Coles, S.L. 2001. Coral bleaching and marine protected areas. Proceedings of the workshop on mitigating coral bleaching impact through MPA design. Asia Pacific Coastal Marine Program report 0102. The Nature Conservancy, Honolulu.
- Sanjeewa, K.K.A., Kim, E_A., Son, K-T., & Jeon, Y-J. 2016. Bioactive properties and potentials cosmeceutical applications of phlorotannins isolated from brown seaweeds: A review. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology* 162: 100–105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.06.027>.
- Santos, D.T., & Meireles, M.A.A. 2010. Carotenoid Pigments Encapsulation: Fundamentals, Techniques and Recent Trends. *The Open Chemical Engineering Journal* 4:42-50. DOI: 10.2174/1874123101004010042
- Satyani, D., & Subamia, I. W. 2009. Ikan Hias Air Tawar Ekspor Indonesia. *Media Akuakultur*, 4(1), 1-17
- Schmit, J.P. and Mueller, G.M. (2007). An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodivers Conserv.* 16: 99–111.
- SEE Turtles. 2019. Flatback Turtle. (1 June 2019)
- Sekolah Tinggi Perikanan, Jakarta.
- Sembiring, S.B.M., Wibawa, G.S., Setiadharna, T. and Haryanti, H. 2017. Pertumbuhan dan Variasi Genetik Ikan Bandeng, *Chanos chanos* dari Provinsi Aceh, Bali, Dan Gorontalo, Indonesia. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(4), pp.307-314.
- Sembiring, S.B.M., Hutapea, J.H. and Haryanti, H. 2015. Variasi Genetik Ikan Kerapu Sunu *Plectropomus leopardus* F-0 Hingga F-3 Berdasarkan Marka Mikrosatelit. *Jurnal Riset Akuakultur*, 10(3), pp.305-311.

- Sembiring, A., Pertiwi, N.P.D., Mahardini, A., Wulandari, R., Kurniasih, E.M., Kuncoro, A.W., Cahyani, N.D., Anggoro, A.W., Ulfa, M., Madduppa, H. and Carpenter, K.E., 2015. DNA barcoding reveals targeted fisheries for endangered sharks in Indonesia. *Fisheries Research*, 164, pp.130-134.
- Sender, R., Fuchs, S., & Milo, R. 2016. Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body. *PLoS biology*, 14(8), e1002533. doi:10.1371/journal.pbio.1002533
- Sender, R., Fuchs, S., and Milo, R. 2016. Are We Really Vastly Outnumbered? Revisiting the Ratio of Bacterial to Host Cells in Humans. *Cell*. 164, 3: 337-340.
- Serive, B., & Bach, S. 2018. Marine Pigmen Diversity: Application and Potential. Ch. 20. In *Blue Biotechnology: Production and Use of Marine Molecules* (Eds. Barre, S.L & Bates, S.S). Volume 1. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Germany. 952 p.
- Setyastuti, A., Wirawati, I., and Iswari, M.Y. (2018). Identification and distribution of sea cucumber exploited in Lampung, Indonesia. *Biodiversitas* 19: 726-732.
- SFP. (2014). Model for Blue Swimming Crab in Indonesia. (Unpublished report).
- Shalaby, E.A. 2011. Algal Biomass and Biodiesel Production. Ch. 6. In: Stoytcheva, M (Ed.). *Biodiesel – Feedstock and Processing Technologies*. ISBN: 978-953-307-713-0, InTech. <http://www.intechopen.com/books/biodiesel-feedstocks-and-processing-technologies/algal-biomass-andbiodiesel-Production>.
- Sheetal, K.R., & Mahesh, W.M. (2015). Bio-diesel from algae “Empowering the world of energy: A Review”. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2(9): 1958-1966.
- Sheppard, C., A. Price. & C. Roberts 1996. *Marine ecology of the Arabian Region. Patterns and processes in extreme tropical environment*. Academic Press, Harcourt Brace Johanovich, Publisher. London
- Sinha Sharmistha , Akram Astani b, Tuhin Ghosh, Paul Schnitzler, Bimalendu Ray., 2010., Polysaccharides from *Sargassum tenerrimum*: Structural features, chemicalmodification and anti-viral activity, *Phytochemistry* 71 : 235–242.
- Skalski, J.R., Pearson, W.H., Malme, C.I., 1992. Effects of sounds from a geophysical device on catch per unit effort in hook and line fishery for rockfish (*Sebastes* spp.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49, 1357–1365.
- Smith, C.R., Baco, A. R. & Glover, A. 2002. Faunal succession on replicate deep-sea whale falls: time scales and vent-seep affinities. *Cahier de Marine Biologie* 43: 293-297.
- Soerianegara, I. 1987. Masalah penentuan jalur hijau hutan mangrove. Pros. Sem. III Ekos. Mangrove. MAB-LIPI: 3947.
- Spalding, M.D., Ravilious, C., Green, E.P., UNEP-WCMC. 2001. *World atlas of coral reef*. University of California Press. 436p
- Spalding, M.D., Fox, H.E., Allen, G.R., Davidson, N., Ferdaña, Z.A., Finlayson, M.A.X., Halpern, B.S., Jorge, M.A., Lombana, A.L., Lourie, S.A. and Martin, K.D., 2007. Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57(7), pp.573-583.
- SPIRE Research Consultant .2014. *Value Chain Analysis of Marine Fish Aquaculture in Indonesia : Bussiness Opportunities for Norwegian Companies*. Innovation Norway and SPIRE RC, Jakarta.
- Starbird C, Suarez M. 1994. Leatherback sea turtle nesting on the north Vogelkop coast of Irian Jaya and the discovery of a leatherback sea turtle fishery on Kai island Pages 143-146 in Bjorndal KA, Bolten AB, Johnson DA, Eliazar PJ, eds. *Proceedings of the Fourteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*, NOAA Tech Memor. NMFS-SEFSC-351.

- Steckenreuter, A., N. Pilcher, B. Krüger, and J. Ben. 2010. Male-Biased Primary Sex Ratio of Leatherback Turtles (*Dermochelys coriacea*) at the Huon Coast, Papua New Guinea. *Chelonian Conservation and Biology* 9:123-128.
- Stidworthy J. 1974. *Snakes of the World*. Grosset & Dunlap Inc.
- Stigebrandt, A. 1999. MOM(Monitoring- Ongrowing fish farms- Modelling) turnover of energy and matter by fish- A general model with application to salmon. *Fisken og Havet*, 26.
- Suarez A, Starbird C. 1996. Subsistence hunting of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, in the Kai Islands, Indonesia. *Chelonian Conservation and Biology* 2:190-195.
- Subasinghe, R. 2017. Regional Review on Status and Trends in Aquaculture Development in Asia-Pacific-2015. FAO Fisheries and Aquaculture Circular, I.
- Suganya, T., Varman, M., Masjuki, H.H., & Renganathan, S. (2016). Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 55: 909–941. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.026>.
- Sugawara, T., Matsubara, K., Akagi, R., Mori, M., and Hirata, T. 2006. Antiangiogenic Activity of Brown Algae Fucoxanthin and Its Deacetylated Product, Fucoxanthinol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 9805-9810.
- Suharsono. 2014. *Biodiversitas Biota Laut Indonesia*. Jakarta: Puslit Oseanografi – LIPI. 418 hlm.
- Sukardjo, S. 1996. *Gambaran umum ekologi mangrove di Indonesia Lokakarya Strategi Nasional Pengelolaan Hutan Mangrove di Indonesia*. Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi lahan, Departemen Kehutanan, Jakarta: 26 hal.
- Sukmantoro W, Irfham M, Novarino W, Hasudungan F, Kemp N, Muchtar M. 2007. *Daftar Burung Indonesia no. 2*. Bogor: Indonesian Ornithologists' Union.
- Suman, A., Irianto, H.E., Satria, F., Amri, K (2015). Potensi dan Tingkat Pemanfaatan Sumberdaya Ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia tahun 2015 serta Opsi Pengelolaan. *Jurnal Kebijakan Pengelolaan Indonesia*
- Sunarto, A., Koesharyani, I., Supriyadi, H., Gardenia, L., Sugianti, B. & Rukmono, D. Current status of transboundary fish diseases in Indonesia: occurrence, surveillance, research and training. *Transboundary Fish Diseases in Southeast Asia: Occurrence, Surveillance, Research and Training*. Proceedings of the Meeting on Current Status of Transboundary Fish Diseases in Southeast Asia: Occurrence, Surveillance, Research and Training, Manila, Philippines, 23-24 June 2004, 2004. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, 91-121.
- Supriadi, I.H. 2001. *Dinamika Estuaria Tropik*. Oseana Vol. XXVI (4) : 1-11
- Suwelo IS, Nuijta NS, Soetrisno I. 1982. Marine turtles in Indonesia. Pages 349-351 in Bjorndal KA, ed. *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson, and R. H. Fleming, 1942: *The Oceans, their physics, chemistry, and general biology*. Printice-Hall, Inc., 1087p.
- Syakti, A. D., Bouhroum, R., Hidayati, N. V., Koenawan, C. J., Boulkamh, A., Sulisty, I., Lebarillier, S., Akhlus, S., Doumenq, P. & Wong-Wah-Chung, P. 2017. Beach macro-litter monitoring and floating microplastic in a coastal area of Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 122, 217-225.
- Syakti, A. D., Hidayati, N. V., Jaya, Y. V., Siregar, S. H., Yude, R., Suhendy, Asia, L., Wong-Wah-Chung, P. & Doumenq, P. 2018. Simultaneous grading of microplastic size sampling in the Small Islands of Bintan water, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 593-600.

- Szuster, B. W. & Albasri, H. 2010. Mariculture and Marine Spatial Planning: Integrating Local Ecological Knowledge at Kaledupa Island, Indonesia. *Island Studies Journal*, 5, 237-250.
- Takisawa, K., Kanemoto, K., Kartikawati, M., & Kitamura, Y. (2014). Overview of biodiesel production from microalgae. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture*. 9: 124-128.
- Tapilatu RF, Ballamu F. 2015. Nest temperatures of the Piai and Sayang Islands of green turtle (*Chelonia mydas*) rookeries, Raja Ampat Papua, Indonesia: Implications for hatchling sex ratios. *Biodiversitas* 16(1): 102-107.
- Tapilatu RF, Dutton PH, Tiwari M, Wibbels T, Ferdinandus HV, Iwanggin WG, Nugroho BH. 2013. Long-term decline of the western Pacific leatherback, *Dermochelys coriacea*: a globally important sea turtle population. *Ecosphere* 4:art25.
- Tapilatu RF, Wona H, Batubara PP. 2017. Status of sea turtle populations and its conservation at Bird's Head Seascape, Western Papua, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 18.
- Tapilatu RF. 2014. The Conservation of the Western Pacific Leatherback sea Turtle (*Dermochelys coriacea*) at Bird's Head Peninsula, Papua Barat, Indonesia. Dissertation. University of Alabama at Birmingham (UAB).
- Tapilatu, R. F., and M. Tiwari. 2007. Leatherback turtle, *Dermochelys coriacea*, hatching success at Jamursba-Medi and Wermon beaches in Papua, Indonesia. *Chelonian Conservation and Biology* 6:154-158.
- Terasaki, M., Hirose, A., Narayan, B., Baba, Y., Kawagoe, C., Yasui, H., & Miyashita, K. 2009. Evaluation of recoverable functional lipid components of several brown seaweeds (Phaeophyta) from Japan with special reference to fucoxanthin and fucosterol contents. *Journal of Phycology*, 45(4): 974-980.
- Thomlinson, P.B. 1974. Vegetative morphology and meristem dependence - the Foundation of Productivity in seagrass. *Aquaculture* 4: 107-130.
- Tomasick, T.A.J. Mah, A. Nontji. And M.K. Moosa. 1997 The ecology of Indonesian seas. Periplus eds Part II.
- TNC 2010. Analisis Kelayakan Kesepakatan Konservasi Laut (MCA, Marine Conservation Agreement) untuk Segitiga Karang - Indonesia ; Temuan-Temuan Sementara – Versi Publik (V.2). Bali: The Nature conservancy.
- Topare, N.S., Renge, V.C., Khedkar, S.V., Chavan, Y.P., & Bhagat, S.L. (2011). Biodiesel from Algae Oil as Alternative Fuel for Diesel Engine. *International Journal of Chemical, Environmental and Pharmaceutical Research*. 2(2-3): 116-120.
- Torres VR, Encinar JA, López MH, Sanchez AP, Galiano V, Catalan EB, et al. An updated review on marine anticancer compounds: the use of virtual screening for the discovery of small-molecule cancer drugs. *Molecules*. 2017; 22, 1037. doi:10.3390/molecules22071037.
- Tran, N., Rodriguez, U. P., Chan, C. Y., Phillips, M. J., Mohan, C. V., Henriksson, P. J. G., Koeshendrajana, S., SURI, S. & HALL, S. 2017. Indonesian aquaculture futures: An analysis of fish supply and demand in Indonesia to 2030 and role of aquaculture using the AsiaFish model. *Marine Policy*, 79, 25-32.
- Trincone, A. 2017. Enzymatic Processes in Marine Biotechnology. *Mar. Drugs*. 15(93). doi:10.3390/md15040093.
- TRUBUSNEWS. 2019. Teknologi RAS Terbukti Lebih Efisien dalam Pembenihan Ikan, Begini Keunggulannya. TRUBUSnews, diakses tanggal 19 Desember 2019.
- UNEP .1994. Convention on Biological Diversity. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

- Uwe F, Havas P. 2007. Checklist of Chelonians of the World. *Vertebrate Zoology* 57:169-170.
- Van Houtan KS, Halley JM. 2011. Long-term climate forcing in loggerhead sea turtle nesting. *PLoS One* 6:e19043.
- Vasconcelos, A.A., & Pomin, V.H. (2018). Marine Carbohydrate-Based Compounds with Medicinal Properties. *Mar. Drugs*. 16(233). doi:10.3390/md16070233
- Vasudevan, P.T., & Briggs, M. (2008). Biodiesel production—current state of the art and challenges. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol* (2008) 35:421–430. DOI 10.1007/s10295-008-0312-2
- Vélez-Rubio, G. M., Teryda, N., Asaroff, P. E., Estrades, A., Rodriguez, D., & Tomás, J. (2018). Differential Impact Of Marine Debris Ingestion During Ontogenetic Dietary Shift Of Green Turtles In Uruguayan Waters. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 603-611
- Verbrugge, L. N., Velde, G., Hendriks, A. J., Verreycken, H., & Leuven, R. S. (2012). Risk classifications of aquatic non-native species: application of contemporary European assessment protocols in different biogeographical settings.
- Verbrugge, L. N., Velde, G., Hendriks, A. J., Verreycken, H., & Leuven, R. S. (2012). Risk
- Vidyashree, S., Navyashri, & Kumar, S.S. (2016). Production of Clean Biofuel from Microalgae. Project Report. Department of Biotechnology. R.V. College of Engineering, Bengaluru. 82 p.
- Vilhena, D.A. and Antonelli, A., 2015. A network approach for identifying and delimiting biogeographical regions. *Nature Communications*, 6, p.6848.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Vitousek, M.N., Adelman, J.S., Gregory, N.C., and St Clair, J.J.H. (2007) Heterospecific alarm call recognition in a non-vocal reptile. *Biol. Lett.* 3: 632–63.
- Vogt, R. C. 1994. Temperature controlled sex determination as a tool for turtle conservation. *Chelonian Conservation and Biology* 1:159-162.
- Wallace BP. 2012. Guest Editorial: Progress. *Marine Turtle Newsletter* 133:1 - 3.
- Walters, J.S. 1994. Properly right and participatory coastal management in the Philippines and Indonesian Coastal Management in Tropical Asia. 3: 20-24.
- WCED, 1987. *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford.
- Wetherall JA, Balazs GH, Tokunga RA, Yong MYY. 1993. Bycatch of marine turtles in North Pacific high-seas driftnet fisheries and impacts on the stocks. *North Pacific Fisheries Comm. Bulletin* 53:519-538.
- Whiterington B, Whiterington D. 2015. *Our Sea Turtles, A Practical Guide for the Atlantic and Gulf, from Canada to Mexico*. Pineapple Press, Inc.
- Wianggawati, H.D., Firdaus, M. and Fariyanti, A., 2014. Pengembangan Komoditas Ekspor Ikan Hias Air Tawar dan Kaitannya dengan Pembangunan Ekonomi di Kabupaten Bogor. *Jurnal Manajemen Pembangunan Daerah*, 6(1).
- Wibbels T. 2003. Critical approaches to sex determination in sea turtles. *The biology of sea turtles* 2:103-134.
- Wibbels, T. 2007. Sex Determination and Sex Ratios in Ridley Turtles. Pages 167-189 in P. Plotkin, editor. *Biology and Conservation of Ridley Sea Turtles*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.

- Willett, K. L., & Hamann, M. T. 2006. Manzamine B and E and Ircinal A Related Alkaloids from an Indonesian Acanthostrongylophora Sponge and Their Activity against Infectious , Tropical Parasitic, and Alzheimer's Diseases. *J. Nat. Prod.*, 69: 1034–1040
- Wood, E. J. F., W.E. Odum and J. C. Zieman. (1969), Influence of the seagrasses on the productivity of coastal lagoons, laguna Costeras. Un Simposio Mem. Simp. Intern. U.N.A.M. - UNESCO, Mexico,D.F., Nov., 1967. pp 495 - 502.
- Wu, X., Ruan, R., Du., & Liu, Y. 2012. Current Status and Prospects of Biodiesel Production from Microalgae. *Energies*. 5: 2667-2682. doi:10.3390/en5082667.
- WWF Indonesia. 2015. Perikanan Lobster Laut. WWF-Indonesia
- WWF Indonesia. 2012. Kawasan Konservasi Kei Kecil: masa depan baru penyu belimbing in WWF Indonesia Media & Publikasi, ed. <http://m.wwf.or.id/?25560%2FKawasan-konservasi-Kei-Kecil-masa-depan-baru-penyu-belimbing>. Jakarta: WWF Indonesia.
- WWF. Pelaksanaan CITES di Indonesia. <https://www.wwf.or.id/?4201/Pelaksanaan-CITES-di-Indonesia>. 2005. Accessed July 2019.
- www.fishbase.org, version (04/2019).
- Ye, Y., & Valbo-Jørgensen, J. 2012. Effects of IUU fishing and stock enhancement on and restoration strategies for the stellate sturgeon fishery in the Caspian Sea.
- Yunizal. 2004. Teknologi Pengolahan Alginat. Pusat Riset Pengolahan Produk dan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan. 66 hal.
- Yusuf, N.N.A.N., Kamarudin, S.K., & Yaakub, Z. (2011). Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*. 52: 2741–2751. doi:10.1016/j.enconman.2010.12.004
- Zaky, Abdelrahman Saleh, Gregory A. Tucker, Zakaria Yehia Daw and Chenyu Du. "Marine yeast isolation and industrial application." *FEMS yeast research* (2014).
- Zaky, A.S., Tucker, G.A., Daw, Z.Y., and Du, C. (2014). Marine yeast isolation and industrial application, *FEMS Yeast Research*. 14, 6: 813–825.
- Zangerl R, Hendrickson L, Hendrickson J. 1988. A redescription of the Australian Flatback Sea Turtle *Natator depressus*. *Bishop Museum Bulletin Zoology* 1:1-69.
- Zhu, M., Yu, X., Ahlberg, P.E., Choo, B., Lu, J., Qiao, T., Qu, Q., Zhao, W., Jia, L., Blom, H. and Zhu, Y.A., 2013. A Silurian placoderm with osteichthyan-like marginal jaw bones. *Nature*, 502(7470), p.188.

A

Abalone 57, 91
Acropora 10, 44
Acropora cervicornis 43, 151
Acropora gemmifera 10
Acropora millepora 10
Acropora muricata 10
Aeromonas 10
Ahermatipik 43
Alel 3
Amphidinium 17
Anelida 44
Anemon 17, 41, 45, 113
Anglerfish 121
Anjing laut 88, 91
Anorganik 11
Anthozoa 41, 46
Apoenzim 304
Archaea 9, 10, 11
Arithmetic mean 273, 274
Artemia sp 28, 265, 266
Arthropoda 50, 61
Arthropoda 50, 61
Ascidian 62
Atoll 131
Autotrof 24

B

Bacteriophage 11
Bakteri 9, 10, 14, 18, 19, 23, 44
Bakterioplankton 19
Balanced score 189
Baleen 88, 93
Bargaining position 254
Barnacle 12, 106
Basilariofita (Bacillariophyta) 21
Behavioral 76
Beluga 88
Bentos (benthos) 18, 22, 23, 59
Berang-berang laut 91
Beruang kutub 92

Binomial 69, 70, 73
Bintang laut 44, 59, 60
Biodiversitas 2, 3, 5, 6, 40, 68, 84, 120, 141, 142, 149, 151, 161, 166, 294, 333,
335, 351, 369, 373
Biodiversity lost 141
Biofouling 33, 87
Biofuel 20, 62
Biological pump 22, 29
Biopiracy 151
Bioprospecting 152
Bioreaktor 290
Biotik 208
Bivalvia 58, 148
Black band disease 44, 151
Blowhole 89
Blubber 91
Breeding,
Broadcast spawning 43
Brood spawning 43
Buaya 100
Budding 43
Bulu babi 44, 59, 91

C

Cacing laut 63, 135
Cacing pipih 44
Carbon sink 29
Carbon trap 29
Carnivora (ordo) 88, 91, 92
Carrying capacity 125, 269, 275, 276,
Cartagena 168
Cephalopoda 56
Cephalothorax 50
Cetacea 88, 90
Chaetoceros 21
Chironex fleckeri 48
Chordata 61
Ciguatoxin 281
Ciliophora 23
CITES 44, 45, 59, 91, 163, 164, 165
Citra satelit 222
Clostridium 10
Cnidaria 41, 46
Coccolith 23
Codex Alimentarius 281
Coelacanth 66, 132, 152

Cold sheeps 122
Comb jelly 49
Coral bleaching 17, 114, 148
Coral triangle 2
Coralliophila 44
Corallivorous fish 44
COTS 43, 60, 114, 139, 140
Ctenophora 49
Cubozoa 41
Cumi-cumi 17, 113
Cyanobacteria 12, 14, 19, 20

D

Damselfish
Dark Spots Disease 152
De novo 320
Deadzone 49
Dekomposer 11
Dekomposisi 12
Deposit feeder 61, 63, 107
Detritivora 57
Detritus 11, 12, 23, 58
Diadrom 74
Diatom 14, 21
Diazotrof 10
Dimorfik 13
Dinoflagelata (dinoflagellata, dinoflagellates) 14, 17, 19, 21, 30
Disclaimer 193
Domestikasi, 16, 254, 258
Drag 117
Drupella 44
Dugong 88, 90

E

EAFM 157, 187
Ecozone 127
Eddy 29, 30
eDNA 4, 5, 368
Ekinodermata 44, 56, 59, 135
Ekolokasi (echolocation) 90, 93
Ekoregion 127, 128, 129, 130, 133, 136
Ektosimbion 10
Endangered 69
Endemik 28, 67, 84, 85, 97, 254
Endosimbion 10, 17, 41
Endozoicomonas 10

Epibakteri 19
Epifauna 47, 116
Etika 193
Eukariot 9, 11, 14, 31
Euryhaline 74
Exotic 85
Extinction 6, 153

F

FAO 79, 80, 176, 186, 217, 233,
FCR 56, 258, 269
Femtoplankton 19
Fikobilin (phycobilin) 19
Filter feeder 59, 62, 107
Fish meal, 257, 282
Fitoplankton 14, 18, 19, 21, 24, 28, 30, 116, 140, 149
Flagela 19, 20
Fluorescence 120
Foraminifera 19, 22, 23, 107
Fotoautotrof 14, 18, 26, 31
Fotosintesis 17, 18, 20, 23, 28, 30, 41, 115
Fragmenting 43
Fringing reef 112, 131, 134
Front 24
Fukoxantin (fucoxanthin) 20
Fungi 9, 11, 12, 13, 14

G

Gajah laut 88, 91
Gastropoda 44, 57, 148
Genetically modified organism (GMO), 260, 293
Geometric mean 273, 274
Ghost net 93
Global/Euro GAP, 252
Gorgonia/kipas laut 41, 46
GRAS 311
Grazer 206
Gunung laut 24, 115, 116
Gurita 56
Gyre 118

H

Habitat 197, 199, 200
HABs (harmful algal blooms) 30
Haliotis 57
Hatchery 263, 264 265, 2266, 284

Heat core 89
Herbivora 33,44, 57,90, 95, 106,110
Hermaprodit 57, 58
Hermatipik 43, 111
Hidrogen sulfida 122
Hidroid 41
Hifa 14
Histamin, 281
Holoplankton 22
Holothuria 61, 135
Homeoterm 89
Hormon 290, 300
Hotspot 105, 154, 155, 156, 159
Hydrothermal vents 121
Hydrozoa 41, 47

I

IBSAF 167
Iguana laut 100
Ikatan *hydrogen* 295, 304,
Iktioplankton 18
Inbreeding, 257
Indikator kinerja utama 191
Infauna 107, 116
Invasive 85, 261
IPAL 267
IUU Fishing 215,216,217,218

J

Jamur 11

K

Kapang 11, 13
Karang 12, 41, 111, 148
Karang api 41
Karang lunak 17, 41, 45, 113
Karoten (carotene) 19, 21
Kelp 91
Kemoreseptor ,50
Keong laut 44
Kepunahan 4, 5, 65, 153
Khamir 11
Kima 17, 41, 113
Kipas laut/gorgonia 41, 46
Klorofil-a 19, 20, 21
Klorofil-c 20, 21

Kloroplas 14
Kofaktor
Kokolitofor (coccolithophore) 20, 149
Konservasi 32, 69, 83, 84,98,110, 125, 126,129,131,132,133,,134, 135, 139, 152,
155, 156, 160, 161, 164, 166, 167, 169, 170, 171, 198
Kopepoda 19
Koralivora (corallivore) 44
Krill 19
Krustasea 44, 50, 135, 140
Kucing laut 92

L

Lahan atas (up land) 210
Lamakera 93
Lamalera 93
Lamun 12, 90, 112
Larutan dapar 298, 299
Latimeria 66
Laut dalam 119
Level maturitas 192
Lichen 12
Limnetik 2
Locomotion 23
Loligo 56
Lumba-lumba 88, 89
Lungfish 66
Lure 120
Lyngbya 20

M

Makrofitas 31
Makroplankton 19, 22
Mamalia 18
Mamalia laut 88, 116
Manatee 90
Mangrove 12, 112
Marine snow 122
Medusa 41, 47, 48
Megaichthyodiversity 68
Megaplankton 19, 22
Meiofauna 106, 107
Meroplankton 22, 23, 34
Mesokariot 14
Middleman 258,
Mesoplankton 19, 22
Metabolisme 11,15, 33,34, 105, 304

Metagenomic 4, 372
Metazooplankton 18, 22
Methanogens 11
Microdiet 266
Mikofikobiosis (mycophycobioses) 12
Mikoriza (mycorrhiza) 12
Mikroplankton 18, 22
Mikroplastik 282, 283
Miselium 12
Mitokondria 9,
Molds atau moulds 11
Molting 50, 52
Moluska 12, 23, 44, 56, 61
Monopoli 194
Montipora 44
Mushrooms 11
Mutualisme 17, 41, 45, 114

N

Nagoya 168
Nanoarchaeota 11
Nanoplankton 19, 20, 22
Native species 85
Natuna 130, 131, 177
Nautilus 56
Nekton 18, 23, 116
Nematosis 41, 46
Neurotransmitter 300
NH₃ 265
Nitrogenase 10
Nitrogen-fiksator 10
Nudibranch 17
Nukleus 9,

O

Octocorallia (karang lunak) 41, 45
Octopus 56
Offspring 78
OHI 6
Oil spill 224
Oscillatoria 20
Oseanik 115

P

Panulirus 51, 52, 144, 284
Parasitik, parasit 11, 12, 22, 23

Patogen 9, 13
Paus 88, 89
Pelagik 115
Pemutihan karang 17, 114, 148
Penyu 49
Perikanan rakyat 234
Pesut 88
Physalia physali 46
Pigmen 14, 20, 21
Pikoplankton 19
Pinnipedia 88, 91
Plankton 18, 22, 24, 28, 58, 61, 116, 148
Pocillopora 10, 43, 44
Pocillopora verrucosa 10, 43
Poikiloterm 148
Polip 48, 60, 111, 113, 148
Polisakarida 34, 50, 60, 307, 309, 310, 313, 314, 315, 350, 353, 354, 358
Porifera 62
Porites 10, 43, 44
Porites lobata 10, 43
Porites Lutea 10
Portuguese man o' war (Physalia physalis) 46, 47
Prokariot 9, 10, 14, 18, 19
Prokariot 9, 10, 14
Protista 9, 13, 14, 19, 21
Protofita (Protophyta) 14
Protozoa 14, 19, 22, 23, 62
Protozooplankton 18, 22
Pseudomonas 10
Pteropod 19
Puerulus 284, 285, 286
Pufferfish 77
Pygmy 78

R

Radar 224
Radiolaria 23
Radiozoa 23
Rarity 151, 152
Recirculation Aquaculture System (RAS) 264
Recycle 49, 50, 118
Red Band Disease 152
Red tide 30
Reduce 49, 50, 118
Rehabilitasi 198
Reptil laut 93, 116

Respon imun non-spesifik 268
Reuse 49, 50, 118
Riftia 121
Road map 219
Rotifer 49
Rumpon 244
Rusip 292
RZWP3K 199, 271, 273, 274, 275, 276, 278

S

Sahul 85, 121, 127, 156, 160
Salinitas 3, 11, 26, 39, 58, 74, 103, 104, 107, 128, 145, 159, 209, 241
Salmonella 10
Sapi laut 88, 90
Saprobik 11
Sasaran strategis 190
Scleractinia 17, 41, 44
Scombrotoxin 282
Scyphozoa 41
Sea otter 91
Sedimen 12, 107
Sel penyengat (stinging cell) 41
Sepia 56
Sertifikasi mutu 232
Sifonofor 41
Silia 23, 49
Siliata 23
Silika 23
Silikoflagelata (*silicoflagellate*) 20
Silikon dioksida 21
Simbiosis (symbiosis) 17, 41, 45, 114, 149
Singa laut 88, 91
Sirenia 88, 90
Slime mold 14
Sotong 56
Spons (sponges) 62
Squamation 76
Stakeholder 195
Stinging cell 41
Strain 16, 87, 260
Stylophora pistillata 10
Sundaland 85, 127, 154
Supply chain 226
Survival rate 264
Symbiodinium 17

T

Tengkulak/pengijon 194
Teripang 60, 61
Teritip 106
Termohalin (*thermohaline*) 119
Termoklin (*thermocline*) 119
Terumbu karang 111
Thallus 31,32
Thermopiles 11
Timun laut 59, 60, 61
Trace element 29
Transgenik 15, 293
Transshipment illegal 218
Translasi 296
Transmitter VMS 223
Transshipment 287
Tridacna 58
Trophic cascade 116, 139, 140, 149
Tunikata, tunicata 61, 62

U

Ubur-ubur 18, 19, 41, 46, 47, 49
Ular laut 100
Ultraplankton 19
Upwelling, upwell 24, 25 115, 116, 129, 140
User-friendly 276

V

Vegetatif 15, 33,35, 349
Vibrio 10
Virioplankton 19
Virus 9, 11, 19
Visual amenity 275
Vulnerable 69

W

Wallacea 85, 127, 154, 156, 157, 160
Walrus 88, 91
Whale falls 122
White band disease 44, 151
White plaque 44, 152
White pox 151

X

Xantofil (xanthophyll) 20, 21

Y

Yeasts 11

Yellow band disease 44, 152

Z

Zooplankton 18, 22, 116, 140, 149

Zooxanthellae 17, 41, 42, 43, 45 111, 114

Amonia: Senyawa kimia yang tersusun atas nitrogen dan hidrogen yang dihasilkan dari dekomposisi limbah nitrogen organisme. Sangat berbahaya untuk ikan budidaya pada konsentrasi tertentu.

Apoenzim: bagian protein dari enzim tempat melekatnya substrat, bersifat tidak tahan panas, dan berfungsi menentukan kekhususan dari enzim. Contoh, dari substrat yang sama dapat menjadi senyawa yang berlainan, tergantung dari enzimnya.

Arithmetic mean: nilai/suku tengah barisan aritmatika yang didapatkan dengan menjumlahkan nilai semua angka (i_1, i_2, \dots, i_n) dan dibagi dengan jumlah angka tersebut (n)

Atoll : sekumpulan terumbu karang yang berbentuk melingkar atau mendekati melingkar menyerupai sebuah cincin yang mengelilingi sebuah laguna di dalamnya

Bargaining position: posisi tawar atau pengaruh dan kemampuan yang dimiliki oleh seseorang untuk dapatkan sesuatu atau bernegosiasi dengan pihak lain untuk menentukan suatu hal

Binomial: cara pemberian nama spesies dengan kombinasi nama yang terdiri dari nama generik (*generic name*) dan nama spesifik (*specific name*). Pada sistem ini, hanya nama spesies yang mengandung dua nama, sedangkan sistem penamaan sebelum spesies hanya diperbolehkan satu nama meliputi klasifikasi genus, famili, ordo, kelas, filum, dan kerajaan.

Biodiversitas: atau keanekaragaman hayati adalah semua kehidupan di atas bumi ini baik tumbuhan, hewan, jamur dan mikroorganisme serta berbagai materi genetik yang dikandungnya dan keanekaragaman system ekologi di mana mereka hidup; atau dapat juga diartikan sebagai keanekaragaman makhluk hidup di berbagai kawasan di muka bumi, baik di daratan, lautan, maupun tempat lainnya

Biodiversity hotspot: wilayah biogeografis yang merupakan reservoir keanekaragaman hayati yang signifikan akan tetapi terancam punah, terutama oleh ulah manusia.

Biodiversity lost: kepunahan spesies baik itu tumbuhan maupun binatang secara luas, atau secara lokal atau pada habitat tertentu yang disebabkan oleh pengaruh tekanan ekologis termasuk disfungsi ekosistem sehingga tidak mampu lagi mendukung kelangsungan hidup organisme yang berasosiasi dengannya.

Biofouling: penempelan dan akumulasi atau agregat organisme hidup yang melekat pada permukaan substrat di perairan

Bioreaktor: dikenal juga dengan nama fermentor adalah sebuah peralatan atau sistem yang mampu menyediakan sebuah lingkungan biologis yang dapat menunjang terjadinya reaksi biokimia dari bahan mentah menjadi bahan yang dikehendaki dengan enzim pada mikroorganisme sebagai katalisnya.

Breeding: upaya untuk mengawinkan dan memproduksi benih hewan budidaya,

Buaya: reptil bertubuh besar yang hidup dekat perairan.

Buffer atau larutan dapar: disebut juga larutan penyangga adalah suatu larutan yang terdiri dari campuran asam/basa lemah dengan garamnya. Fungsinya adalah untuk mempertahankan pH larutan saat ditambahkan asam/basa lemah dalam jumlah relatif sedikit.

Carrying capacity: jumlah maksimum individu/species dalam suatu lingkungan/media yang mempertimbangkan batasan sumberdaya yang tersedia dan jumlah maksimum tersebut tidak mengakibatkan perubahan permanen terhadap lingkungan/media tersebut

CBD (Convention on Biological Diversity): yang dikenal sebagai Konvensi Keanekaragaman Hayati, merupakan perjanjian internasional yang mengikat secara hukum yang diadopsi di Rio de Janeiro pada Juni 1992 yang diilhami oleh tumbuhnya komitmen masyarakat dunia untuk pembangunan berkelanjutan.

Ciguatoxin: racun yang terakumulasi pada ikan yang mengkonsumsi organisme laut beracun bersel satu yaitu dinoflagellata

CITES: adalah Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, atau perjanjian internasional yang mengatur perdagangan spesies tertentu dari flora dan fauna liar, yaitu spesies yang termasuk kategori terancam punah.

Codex Alimentarius: disebut juga “Food Code” adalah kumpulan standar, tuntutan dan kode praktik terkait makanan, sistem produksi makanan dan keamanan makanan yang diadopsi oleh Komisi Codex Alimentarius.

Coral triangle: kawasan dengan tingkat keanekaragaman hayati laut tertinggi di dunia mencakup enam negara (Indonesia, Malaysia, Filipina, Timor Leste, Papua Nugini, Kepulauan Solomon), yang menyokong kehidupan lebih dari 120 juta orang yang tinggal di daerah pesisir serta ribuan unit usaha baik kecil, maupun besar di sektor perikanan dan pariwisata

- De novo:** suatu proses pembentukan sebuah molekul penting dari molekul prekursor sederhana
- Detritus:** bahan organik mati berupa partikel; biasanya berupa cacahan dari organisme yang telah mati atau limbah padat organik.
- Diadromous:** adalah sifat atau kemampuan suatu spesies ikan yang menghabiskan sebagian dari kehidupan mereka di air tawar (sungai) dan sebagian lagi dalam air laut.
- Diazotrof:** bakteri dan Archaea yang mengubah gas nitrogen bebas (N₂) menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan.
- Domestikasi:** upaya atau proses penjinakan/pengadopsian tumbuhan atau hewan liar sehingga dapat dibudidayakan dan dimanfaatkan generasi turunannya untuk keperluan manusia.
- EAFM:** pengelolaan perikanan dengan pendekatan ekosistem atau *Ecosystem Approach to Fisheries Management* (EAFM) merupakan suatu pendekatan yang berusaha menyeimbangkan tujuan sosial yang beragam, dengan memperhatikan pengetahuan dan ketidakpastian yang terdapat pada sumber daya biotik, abiotik dan manusia.
- Ecosystem diversity:** menunjukkan variasi ekosistem pada suatu wilayah tertentu dan segala bentuk peranannya, baik terhadap manusia maupun lingkungan sekitar
- Ecozone:** Pembagian biogeografi terluas dari permukaan tanah Bumi, berdasarkan pola distribusi organisme terestrial.
- Ekoregion:** Wilayah dengan karakteristik flora, fauna, dan lingkungan yang mirip
- Ektosimbion:** simbiosis (organisme yang bersimbiosis dengan organisme lain) yang hidup, biasanya menempel, di permukaan tubuh atau organ dari organisme lain.
- Endosimbion:** simbiosis (organisme yang bersimbiosis dengan organisme lain) yang hidup di dalam tubuh atau organ dari organisme lain.
- Eukariot:** Organisme yang mempunyai bahan genetik kromosom sel atau sel-selnya disimpan di dalam satu atau lebih nukleus dan dengan demikian terpisah dari stromatolite oleh dua membrane nukleus
- Euryhaline:** sifat organisme yang mampu hidup pada kisaran salinitas yang luas atau juga dapat diartikan sebagai organisme yang mampu beradaptasi dengan berbagai salinitas dan dapat hidup dalam perairan tawar, payau dan laut.

Extinction: hilangnya keberadaan dari suatu spesies atau taksa, di mana waktu kepunahan suatu spesies ditandai dengan matinya individu terakhir spesies tersebut, walaupun kemampuan untuk berkembang biak tidak ada lagi sebelumnya.

Fish meal : tepung ikan yang diproduksi dari limbah ikan yang tidak digunakan untuk konsumsi manusia.

Fotoautotrof : Organis

Gen cytochrome oxidase subunit I (COI): salah satu gen mitokondrial yang digunakan sebagai penanda genetik untuk DNA *Barcoding*, dan umum digunakan untuk identifikasi spesies ataupun mempelajari karakteristik genetik antar spesies maupun antar individu.

Genbank: pangkalan data sekuen genetik oleh National Institutes of Health (NIH), berupa koleksi sekuen DNA yang dapat diakses luas oleh publik.

Genetically modified organism (GMO): Organisme termodifikasi secara genetika adalah organisme baik tumbuhan maupun hewan yang materi genetiknya (DNA) telah dirubah dengan sengaja melalui proses teknik rekayasa genetik.

Geometric mean: rata rata geometrik yang didefinisikan sebagai kecenderungan nilai tengah dari suatu barisan nilai yang didapatkan dari akar dari total perkalian nilai barisan nilai.

Global/Euro GAP (Good Aquaculture Practices): adalah standar global/Uni Eropa terkait praktek budidaya ikan yang baik dimana produk produk budidaya layak ekspor harus memenuhi persyaratan kepatuhan hukum, keamanan makanan, kesehatan dan keamanan pekerja, perlakuan hewan yang baik serta kepedulian terhadap lingkungan dan ekologi. Konsep ini sepadan dengan konsep CBIB atau Cara Budidaya Ikan yang Baik yang menjadi salah satu program strategis KKP dalam pengembangan perikanan budidaya di Indonesia

GRAS (Generally Recognized as Safe): adalah penetapan dari *Food and Drug Administration* (FDA) Amerika Serikat bahwa bahan kimia atau zat yang ditambahkan ke makanan dianggap aman oleh para ahli, oleh karenanya dikecualikan dari persyaratan Undang-undang Federal, Makanan, Obat, dan Kosmetik (FFDCA), dan dianggap sebagai bahan tambahan makanan yang dapat ditoleransi

Grazer: cara makan (pemberian pakan) herbivora atau hewan memamah biak

Habitat : Tempat suatu makhluk hidup tinggal dan berkembang biak

Hatchery: fasilitas budidaya dimana indukan dipelihara untuk dikawinkan dan diletakkan secara terkontrol sehingga menghasilkan benih yang digunakan untuk keperluan budidaya, konsumsi langsung atau konservasi

Herbivora, herbivor: Hewan yang memakan Sebagian atau seluruh bagian tumbuhan

Histamin: Bahan nitrogen organik ($C_5H_9N_3$) yang berperan dalam respon imunitas lokal dan mengatur fungsi fisiologis sistem pencernaan. Akumulasi histamin dalam ikan dapat menyebabkan keracunan histamin

Homoiotherm: hewan berdarah panas yang bisa mengatur suhu tubuhnya, misalnya mamalia (termasuk manusia) dan burung

Hormon: zat kimia yang diproduksi oleh kelenjar endokrin yang berfungsi untuk memberikan sinyal ke sel target yang selanjutnya akan melakukan suatu tindakan atau aktivitas tertentu pada aktifitas organ-organ lain dalam tubuh

Hotspot: Kawasan yang memiliki keragaman spesies endemik yang tinggi dan mengalami kehilangan habitat secara masif.

IBSAP (*Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan*) adalah rumusan strategi dan tindakan nyata untuk pencapaian target nasional terkait aksi pengelolaan Kehati Indonesia yang meliputi aspek-aspek yang relevan dengan isu kehati serta agenda prioritas pembangunan nasional dalam beberapa tahun ke depan, khususnya dalam rangka meningkatkan produktivitas rakyat dan daya saing bangsa serta kemandirian ekonomi.

Iguana laut: Jenis kadal darat yang hidup di daerah tropis Amerika Tengah, yang makanan utamanya adalah rumput laut dan algae yang tumbuh di dasar laut.

Ikatan hidrogen: ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik antar-molekul antara atom hidrogen yang terikat dengan atom sangat elektronegatif (N, O, atau F) dan pasangan elektron bebas dari atom sangat elektronegatif lainnya. Ikatan ini muncul sebagaimana ikatan N—H, O—H, dan F—H bersifat sangat polar, di mana muatan parsial positif pada H dan muatan parsial negatif pada atom elektronegatif (N, O, atau F).

Inbreeding: perkawinan antara dua atau lebih individu yang masih memiliki kedekatan hubungan kekerabatan

Infauna: hewan yang hidup di dalam sedimen pada dasar perairan laut atau air tawar

IPAL : instalasi pengolahan air limbah

IUCN: organisasi internasional (International Union for Conservation of Nature) yang fokus mendedikasikan kegiatannya pada upaya untuk konservasi sumber daya alam.

Kekerabatan genetik : adalah spesies ikan yang memiliki kekerabatan dekat

Kofaktor: senyawa kimia non-protein yang terikat pada protein dan diperlukan untuk aktivitas biologis protein. Protein ini umumnya enzim, dan kofaktor dapat dianggap sebagai “molekul pembantu” yang membantu dalam transformasi biokimia.

Konservasi : Upaya pelestarian sumberdaya alam dan lingkungan dengan memperhatikan manfaat yang bisa didapatkan dengan cara tetap mempertahankan sebuah keberadaan setiap komponen-komponen lingkungan untuk pemanfaatan di masa yang akan datang.

Limnetik: daerah air bebas yang jauh dari tepi dan masih dapat ditembus sinar matahari. Daerah ini dihuni oleh berbagai fitoplankton, termasuk ganggang dan cyanobakteria. Ganggang berfotosintesis dan bereproduksi dengan kecepatan tinggi selama musim panas dan musim semi.

Litoral: zona atau wilayah laut yang apabila pada saat terjadi air pasang, wilayah ini akan tergenang oleh air, dan pada saat terjadi air surut, wilayah ini akan mengering dan berubah menjadi pantai. Zona litoral dibagi 2 menjadi eulitoral dan sublitoral.

Makrofit: tumbuhan atau alga air

Meiofauna: organisme invertebrata benthik berukuran sangat kecil (mikroskopis) yang hidup di antara partikel substrat perairan laut dan air tawar; seringkali disebut juga sebagai meiobentos.

Metabolisme: pertukaran zat pada organisme yang meliputi proses fisika dan kimia, pembentukan dan penguraian zat di dalam badan yang memungkinkan berlangsungnya hidup

Metagenomik: ilmu yang mempelajari metagenom yaitu seluruh DNA dari suatu ekosistem secara lengkap (bukan hanya dari satu organisme saja).

Microdiet: pakan ikan buatan berukuran mikro yang digunakan untuk substitusi sebagian atau seluruh pakan hidup yang digunakan pada tahap pemeliharaan larva ikan budidaya.

Middleman: seringkali disebut juga tengkulak ikan, toke atau papalele di berbagai daerah di Indonesia, adalah perantara atau agen yang menghubungkan dua belah pihak dalam rantai pemasaran ikan budidaya, biasanya antara pembudidaya sebagai penghasil ikan dengan penjual besar/retailer atau konsumen langsung

Mikroplastik : fragmen plastik yang berukuran panjang lebih kecil dari 5 mm

Neurotransmitter: senyawa kimiawi dalam tubuh yang bertugas untuk menyampaikan pesan antara satu sel saraf (neuron) ke sel saraf target. Sel-sel target ini dapat berada di otot, berbagai kelenjar, dan bagian lain dalam tubuh

Ocean Health Index: Ini adalah kerangka kerja ilmiah yang digunakan untuk mengukur seberapa sehat suatu lautan, platform ini digunakan untuk memastikan lautan dapat terus memberikan manfaat bagi manusia, baik saat ini maupun di masa datang.

Panulirus: Genus (spiny) lobster

Poikiloterm: disebut pula hewan berdarah dingin, atau hewan yang suhu tubuhnya kira-kira sama dengan suhu lingkungan sekitarnya, contohnya reptilia dan ikan.

Polisakarida: polimer molekul-molekul monosakarida yang dapat berantai lurus atau bercabang dan dapat dihidrolisis dengan enzim-enzim yang spesifik kerjanya.

Predasi : adalah serangan dan penghancuran langsung satu organisme terhadap organisme lain

Primer DNA: sekuens DNA yang komplemen terhadap sekuens yang akan di-amplifikasi, terutama dalam reaksi berantai polimerase atau PCR.

Profundal: daerah perairan dalam dan tidak dapat ditembus cahaya matahari, di daerah ini tidak dapat ditemukan pada organisme fotosintetik.

Prokariot, prokariota: alga hijau-biru (cyanobacteria) mempunyai ciri bersel tunggal atau mempunyai filamen dan berukuran kecil diameter sampai 3 mm. DNA tidak terbungkus dalam pembungkus nucleus.

Puerulus: fase transisi post larva dari lobster yang setelah melalui fase phyllosoma planktonik dan sebelum memasuki fase juvenil benthik dan telah memiliki morfologi serupa dengan lobster dewasa

Rarity: spesies langka adalah sekelompok organisme yang sangat jarang, langka, atau jarang ditemukan lagi dalam kurun waktu tertentu, yang disebabkan oleh beberapa faktor, apakah karena migrasi, populasi menurun akibat eksploitasi yang berlebihan atau terjadi kematian massal akibat pengaruh alam atau akibat aktivitas manusia.

Recirculation Aquaculture System (RAS); budidaya ikan dengan memanfaatkan ulang air budidaya melalui sistem resirkulasi ulang menggunakan filter mekanikal dan biologi.

Rehabilitasi : Upaya untuk memulihkan lingkungan

Relict species: populasi atau takson organisme yang lebih luas atau lebih beragam di masa lalu, namun saat ini hanya ditemukan pada area terbatas.

Replikasi DNA: suatu proses penggandaan DNA yang menghasilkan rantai DNA baru yang persis sama sebagai materi genetik makhluk hidup

Reptil Laut: hewan bertulang belakang yang bersisik, hidup di laut dan bernapas dengan paru-paru.

Respon imun nonspesifik: respon bawaan dan alamiah oleh organisme terhadap infeksi bakteri patogen/virus meskipun organisme tersebut tidak pernah terpapar sebelumnya.

RKP/FCR: rasio konversi pakan/feed conversion ratio adalah nilai efisiensi penggunaan pakan ikan budidaya yang dapat direpresentasikan dengan jumlah kg pakan yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 kg massa ikan untuk suatu masa pemeliharaan tertentu

Rusip: atau rusep merupakan sebuah olahan ikan khas Bangka dari ikan bilis yang difermentasi hingga beberapa hari dengan campuran garam dan sedikit gula merah untuk penambah rasa

RZWP3K: Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil

Sahul : Kawasan dari lempeng landas kontinen benua Sahul (antara benua Australia — Papua), terletak diantara lepas pantai utara Australia dan lautan sebelah selatan pulau Papua.

Salinitas: tingkat kandungan garam air laut, danau, sungai dihitung dalam % (perseribu atau ppm)

Scombrotxin: jenis racun histamin yang dapat terakumulasi pada ikan jenis *Scombridae* seperti mackerel dan tuna

Sel punca: sel induk, sel batang (bahasa Inggris: stem cell) merupakan sel yang belum berdiferensiasi dan mempunyai potensi yang sangat tinggi untuk berkembang menjadi banyak jenis sel yang berbeda di dalam tubuh

Species diversity: variasi jumlah spesies dalam suatu kelompok taksa (komunitas) makhluk hidup yang mendiami ruang habitat tertentu.

Spesies asing: suatu jenis ikan yang bukan berasal dari habitat asli atau daerah sebaran zoogeografisnya atau juga bisa disebut sebagai ikan yang tempat hidup alaminya bukan berasal dari Indonesia.

Spesies asli: atau disebut juga *Native Species*, atau disebut juga indigenous adalah spesies yang mendiami suatu rentang wilayah tertentu secara alamiah (daerah, wilayah, negara, regional).

Spesies endemik: merupakan spesies yang mendiami suatu wilayah tertentu secara permanen dan mampu berkembangbiak.

Spesies invasif: organisme asli (native) ataupun asing (nonnative) yang telah diintroduksi ke suatu daerah, mampu beradaptasi dan kemudian berkembang lalu menyebar di luar titik awal introduksi mereka. Spesies invasif biasanya akan menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, ekonomi atau kesehatan manusia. Spesies invasif dapat berupa seluruh kelompok taksonomi meliputi virus, alga, lumut, paku-pakuan, tumbuhan tinggi, invertebrata, ikan, amphibi, reptil, burung dan mamalia.

Stenohaline: sifat organisme yang mampu hidup pada kisaran salinitas yang sempit, atau hanya dapat hidup pada perairan tertentu, apakah hanya pada perairan tawar saja, atau laut.

Strain: disebut Dengan galur, satu generasi keturunan (zuriat) dari suatu individu.

Sundaland: Wilayah biogeografis di Kawasan Asia Tenggara yang juga mengacu pada daratan yang lebih luas yang pernah ada selama 2,6 juta tahun ketika permukaan air laut lebih rendah. Wilayahnya mencakup Semenanjung Malaya di daratan Asia, serta pulau-pulau besar seperti Kalimantan, Jawa, dan Sumatra, ditambah pulau-pulau di sekitarnya.

Survival rate: tingkat kelangsungan hidup organisme yang didapatkan dari jumlah organisme hidup pada waktu tertentu dibagi dengan total organisme pada awal waktu dan direpresentasikan dengan unit pengukuran persen (%)

Thallus: Badan tumbuhan vegetatif sederhana, tidak terdapat diferensiasi menjadi batang, akar dan daun. Unisel atau multisel terdiri atas filamen bercabang atau tidak atau sedikit banyak pipih dan mirip pita.

Trace elements: kelompok mineral yang dibutuhkan dalam kuantitas sangat kecil, sehingga suatu proses dapat berjalan dengan baik.

Transformasi: perubahan rupa (bentuk, sifat, fungsi, dan sebagainya)

Transgenik: artinya memiliki materi genetik (DNA) dari organisme lain. Jadi, ikan transgenik itu merupakan ikan yang memiliki gen atau telah disisipi gen dari organisme lain, dan dapat pula disebut sebagai *Genetically Modified Organism* (organisme yang termodifikasi secara genetik)

Transkripsi: pembuatan RNA terutama mRNA dengan menyalin sebagian berkas DNA oleh enzim RNA polimerase yang berlangsung di dalam inti sel atau di dalam matriks mitokondria dan plastida.

Translasi: proses penerjemahan urutan nukleotida yang ada pada molekul mRNA menjadi rangkaian asam-asam amino yang menyusun suatu polipeptida atau protein

Transshipment: pemindahan barang atau ikan dari satu kapal ke kapal lain ketika dalam masa transit untuk kemudian dikirim ke pelabuhan tujuan. Praktek transshipment umum dilakukan dalam pelayaran. *Transshipment* menjadi ilegal ketika proses ini bertujuan untuk mengaburkan sumber asal barang/ikan.

Ular Laut : sebutan umum untuk semua jenis ular yang hidup dan tinggal di laut.

User-friendly : kemudahan pengoperasian antar muka suatu alat/sistem

Vegetatif : reproduksi aseksual pada tumbuhan atau alga dengan pelepasan suatu bagian tubuh tumbuhan atau alga tersebut.

Visual amenity : nilai visual dari suatu lahan/area berdasarkan sudut pandang individu/stakeholder

VMS: adalah kependekan dari vessel monitoring vessel yaitu suatu alat yang digunakan untuk memantau pergerakan kapal berbasis satelit.

Wallacea: Kawasan biogeografis yang mencakup sekelompok pulau-pulau dan kepulauan di wilayah Indonesia bagian tengah, terpisah dari paparan benua Asia dan Australia oleh selat-selat yang dalam.

World Register of Marine Species (WoRMS): pangkalan data taksonomik yang bertujuan untuk menyediakan data spesies organisme laut, yang terpercaya dan komprehensif, serta dapat diakses secara luas oleh publik.

Yoghurt: produk yang dibuat dari susu melalui proses fermentasi bakteri asam laktat, seperti *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophiles* dan bakteri probiotik *Lactobacillus acidophilus*.

ISBN 978-623-7651-24-6



9 786237 651246

ISBN 978-623-7651-25-3



9 786237 651253



Diterbitkan oleh :

AMaFRaD  PRESS

Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan

Gedung Mina Bahari III, Lantai 6

Jl. Medan Merdeka Timur No. 16, Jakarta Pusat 10110

Telp. (021) 3513300, Fax. (021) 3513287