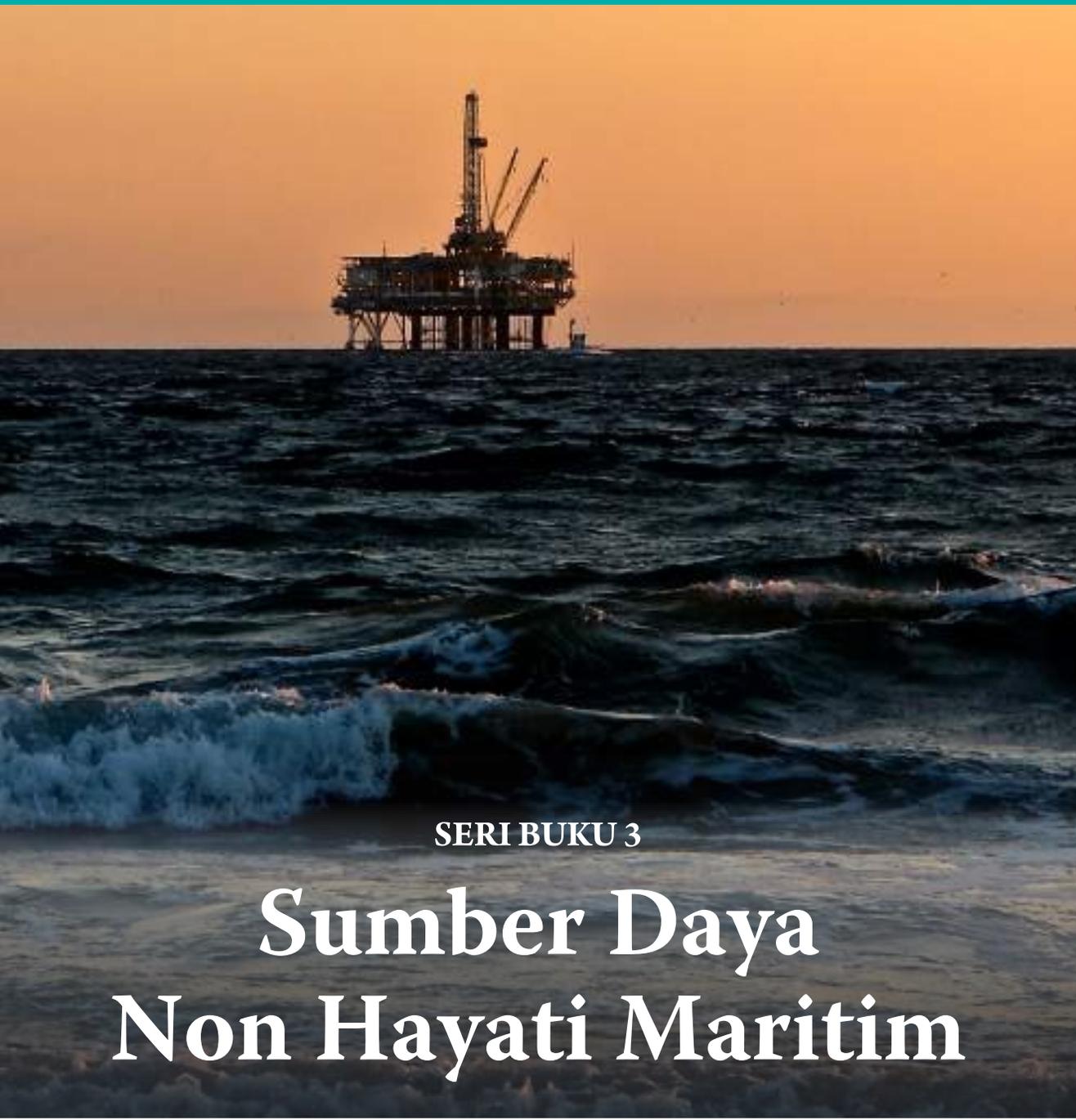


BUKU BESAR MARITIM INDONESIA



SERI BUKU 3

Sumber Daya Non Hayati Maritim

Editor :

**Sjarief Widjaja
Kadarusman**

BUKU BESAR MARITIM INDONESIA

Seri Buku 3

**Sumber Daya
Non Hayati Maritim**

Editor:

**Sjarief Widjaja
Kadarusman**

2019

Sumber Daya Non Hayati Maritim

Editor : Sjarief Widjaja
Kadarusman

Tim Penulis : Widodo Setiyo Pranowo
Tubagus Solihuddin
Triyono
Dini Purbani
Wisnu Arya Gemilang
Ira Dillenia
Rikha Bramawanto
Ifan Ridlo Suhelmi
Dwiyoga Nugroho
Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani
Herlina Ika Ratnawati
Eva Mustikasari
Novi Susetyo Adi
Terry Louise Kepel
Devi Dwiyanti Suryono,
Agustin Rustam
Rahmad Surya Hadi Saputra
Kadarusman

Alih dan Tata Bahasa : Wiko Rahardjo
Tata Letak : Ismail Saleh
Cetakan Pertama : 2019
Penerbit : AMAFRAD PRESS
Badan Riset dan Sumber Daya Manusia
Gedung Mina Bahari III
Jl. Medan Merdeka Timur No.16 Jakarta Pusat 10110
Tel. (021) 3513300 /Fax. (021) 3513287

Jumlah Hal : x + 321 halaman
ISBN : 978-623-7651-22-2
e-ISBN : 978-623-7651-23-9 (PDF)

Sitasi:

Pranowo, W.S., Solihuddin T., Triyono, Purbani D., Gemilang W.A., Dillenia I., Bramawanto R., Suhelmi I.R., Nuhroho D., Kuswardani A. R. T. D., Ratnawati H.I., Mustikasari E., Adi N. S., Kepel T. L., Suryono D. D., Rustam A., Saputra R. S. H., Kadarusman. 2019.

**Sumber Daya Non Hayati Maritim, in S. Widjaja dan Kadarusman (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 Non Hayati Maritim

Tim Penulis :

Widodo Setiyo Pranowo
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Tubagus Solihuddin
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Triyono
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Dini Purbani
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Wisnu Arya Gemilang
*Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan
Pesisir, Padang
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Ira Dillenia
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Rikha Bramawanto
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Ifan Ridlo Suhelmi
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Dwiyoga Nugroho
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Herlina Ika Ratnawati
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Eva Mustikasari
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Novi Susetyo Adi
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Terry Louise Kepel
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Devi Dwiyanti Suryono
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Agustin Rustam
*Pusat Riset Kelautan,
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Rahmad Surya Hadi Saputra
Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang

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

DAFTAR ISI	vi
BAB I EVOLUSI PEMBENTUKAN KEPULAUAN INDONESIA	1
<i>Tubagus Solihuddin, Wisnu Arya Gemilang, Triyono</i>	
1.1 Proses Evolusi Kepulauan Indonesia	3
1.2 Bentang Alam Pesisir Indonesia	12
1.2.1 Fisiografi wilayah laut Indonesia	21
BAB II KEANEKARAGAMAN SUMBER DAYA NON HAYATI	27
<i>Wisnu Arya Gemilang, Tubagus Solihuddin, Ira Dillenia, Rikha Bramawanto, Ifan Ridlo Suhelmi</i>	
2.1 Kondisi Geologi yang Unik	28
2.2 Kontrol Geologi Terhadap Keanekaragaman Sumber Daya Non-Hayati	32
2.2.1 Sumber Daya Mineral	36
2.2.2 Sumber Daya Minyak dan Gas	43
2.2.3 Sumber Daya Air Tawar di Pulau-Pulau Kecil	47
2.2.4 Sumber Daya Bahan Galian C (Pasir, Batu)	54
2.2.5 Sumber Daya Panas Bumi (Geothermal)	56
2.2.6 Sumber Daya Garam	60
2.2.7 Sumber Daya Arkeologi Maritim	67
BAB III KEBENCANAAN LAUT DAN PESISIR	77
<i>Dini Purbani, Triyono, Tubagus Solihuddin</i>	
3.1 Jenis bencana Pesisir	80
3.1.1 Tsunami	80
3.1.2 Gempa bumi	88
3.1.3 Gelombang Badai	89
3.1.4 Banjir	93
3.1.5 Erosi Pantai (Abrasi)	99
3.2 Mitigasi Bencana	102
3.2.1 Mitigasi Gempa bumi dan Tsunami	102
BAB IV KARAKTERISTIK LAUT INDONESIA	117
<i>Widodo Setiyo Pranowo, Dwiyoga Nugroho, Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani, Harlina Ika Ratnawati, Eva Mustikasari, Rahmad Surya Hadi Saputra</i>	
4.1 Karakteristik Batimetri dan Geomorfologi Pantai Indonesia	118
4.2 Transfer Energi Radiasi Matahari Menuju Ke Laut	121

4.3	Karakteristik Evaporasi, Presipitasi, dan Kelembaban	123
4.4	Angin	125
4.5	Gelombang Laut	130
4.6	Interaksi laut atmosfer	134
 BAB V DINAMIKA LAUT INDONESIA		147
	<i>Widodo Setiyo Pranowo, Dwiyoga Nugroho, Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani, Herlina Ika Ratnawati</i>	
5.1	Sirkulasi Massa Air Laut Indonesia dengan Samudra Hindia	148
5.2	Sirkulasi Massa Air Laut Indonesia dengan Samudra Pasifik	149
 BAB VI PERANAN OSEANOGRAFI PADA PEMBANGUNAN MARITIM		163
	<i>Widodo Setiyo Pranowo, Dwiyoga Nugroho, Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani, Herlina Ika Ratnawati</i>	
6.1	Peran untuk Kelautan	165
6.2	Peranan untuk Perikanan	168
 BAB VII PERUBAHAN IKLIM: PENYEBAB DAN DAMPAKNYA PADA SEKTOR KELAUTAN DAN PERIKANAN		175
	<i>Novi Susetyo Adi, Terry Louise Kepel, Tubagus Solihuddin, Kadarusman</i>	
7.1	Perubahan Iklim : Antara Siklus Alamiah dan Intervensi Manusia	177
7.2	Dampak Antropogenik Terhadap Perubahan Iklim	179
7.3	Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Kelautan dan Perikanan	183
	7.3.1 Dampak Pada Sektor Kelautan	183
	7.3.2 Dampak Pada Sektor Perikanan	194
7.4	Memantau Perubahan Iklim Lewat Aplikasi	199
 BAB VIII MITIGASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM		201
	<i>Novi Susetyo Adi, Terry Louise Kepel, Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani</i>	
8.1	Gambaran Umum	202
8.2	Perkembangan Kebijakan	204
	8.2.1 Kebijakan Global	204
	8.2.2 Kebijakan Nasional	208
8.3	Mitigasi Perubahan Iklim	212
	8.3.1 Mitigasi Berbasis Teknologi	212
	8.3.2 Mitigasi Berbasis Ekosistem	215
8.4	Adaptasi Perubahan Iklim	226

BAB IX PENCEMARAN PESISIR DAN LAUT	231
<i>Devi Dwiyanti Suryono, Agustin Rustam</i>	
9.1 Tata Kelola Wilayah Pesisir	234
9.2 Masalah Pencemaran Wilayah Pesisir dan Laut Indonesia	236
9.2.1 Sampah Laut (<i>Marine debris</i>)	236
9.2.2 Logam berat dan Pestisida	243
9.2.3 Tumpahan Minyak	247
9.2.4 Eutrofikasi	252
9.3 Jenis Bahan Pencemar (Polutan)	253
9.4 Parameter Lingkungan	255
A. Parameter Lingkungan Fisika	255
B. Parameter Lingkungan Kimia	259
9.5 Dinamika dan Transportasi Polutan di Laut	260
9.5.1 Interaksi polutan	262
9.5.2 Faktor yang Mempengaruhi Distribusi Polutan (Musim, Arus, Pasang Surut, Gelombang dan Geomorfologi)	264
9.6 Dampak Pencemaran Laut	265
9.7 Pengelolaan Pencemaran Pesisir dan Laut	268
9.7.1 Kebijakan	270
9.7.2 Strategi Pengelolaan	272
9.7.3 Strategi Pengendalian	273
9.8. Implementasi Pembangunan Pesisir dan Lautan yang Berkelanjutan (<i>Sustainable</i>)	275
 DAFTAR PUSTAKA	 278
INDEKS	302
GLOSARIUM	310

BAB I

Evolusi Pembentukan Kepulauan Indonesia

Tubagus Solihuddin

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Wisnu Arya Gemilang

Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, Padang

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Triyono

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

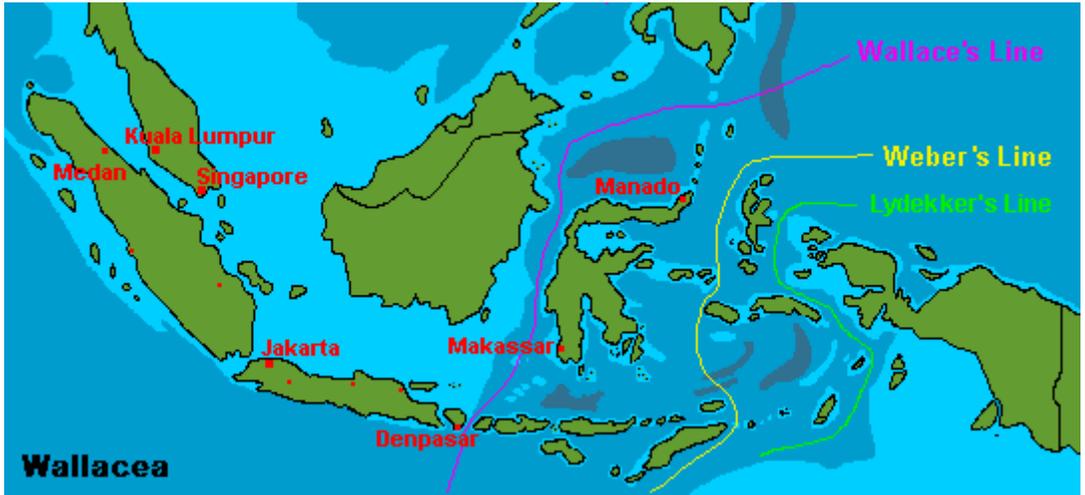
Sitasi:

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

Evolusi Pembentukan Kepulauan Indonesia

Anda tentu sudah mengetahui, atau paling tidak pernah mendengar istilah “Garis Wallacea” dan “Garis Weber”. Keduanya merupakan suatu garis khayal yang memisahkan persebaran jenis fauna Asia dan Australia. Garis Wallacea memanjang dari utara hingga selatan, tepatnya dari Selat Makassar hingga perbatasan antara Bali dan Lombok. Garis khayal ini memisahkan persebaran fauna jenis Asiatis di sebelah barat garis Wallace, yaitu Sumatra, Jawa, Kalimantan, dan Bali dengan fauna Indonesia tengah atau peralihan, seperti Sulawesi, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur. Sementara Garis Weber merupakan garis khayal yang memisahkan persebaran fauna Indonesia tengah dengan fauna yang berada di sebelah timur Garis Weber, yaitu Maluku dan Papua (Gambar 1).

Apa yang menyebabkan perbedaan persebaran jenis fauna tersebut? Jawabannya adalah proses geologi yang terjadi beberapa ribu tahun bahkan juta tahun yang lalu (tyl).

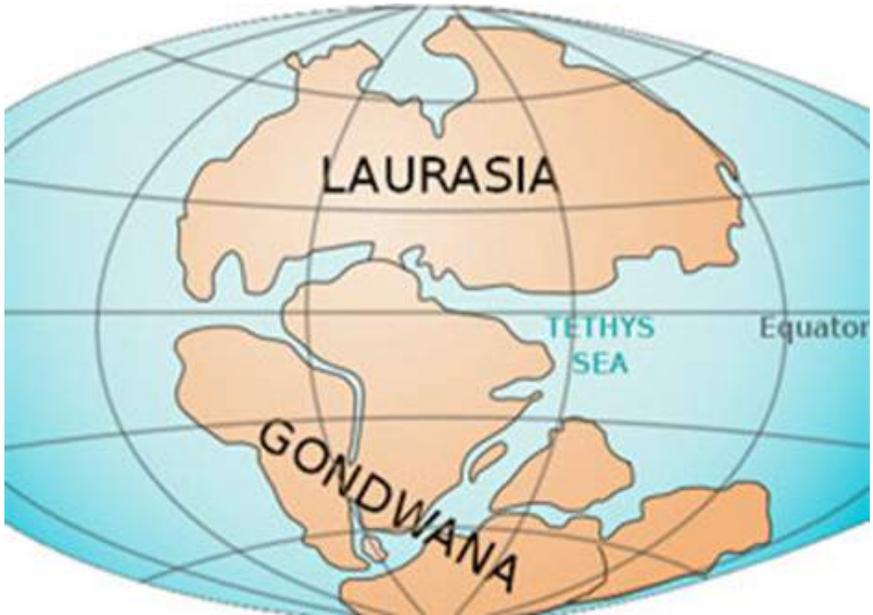


1.1 Proses Evolusi Kepulauan Indonesia

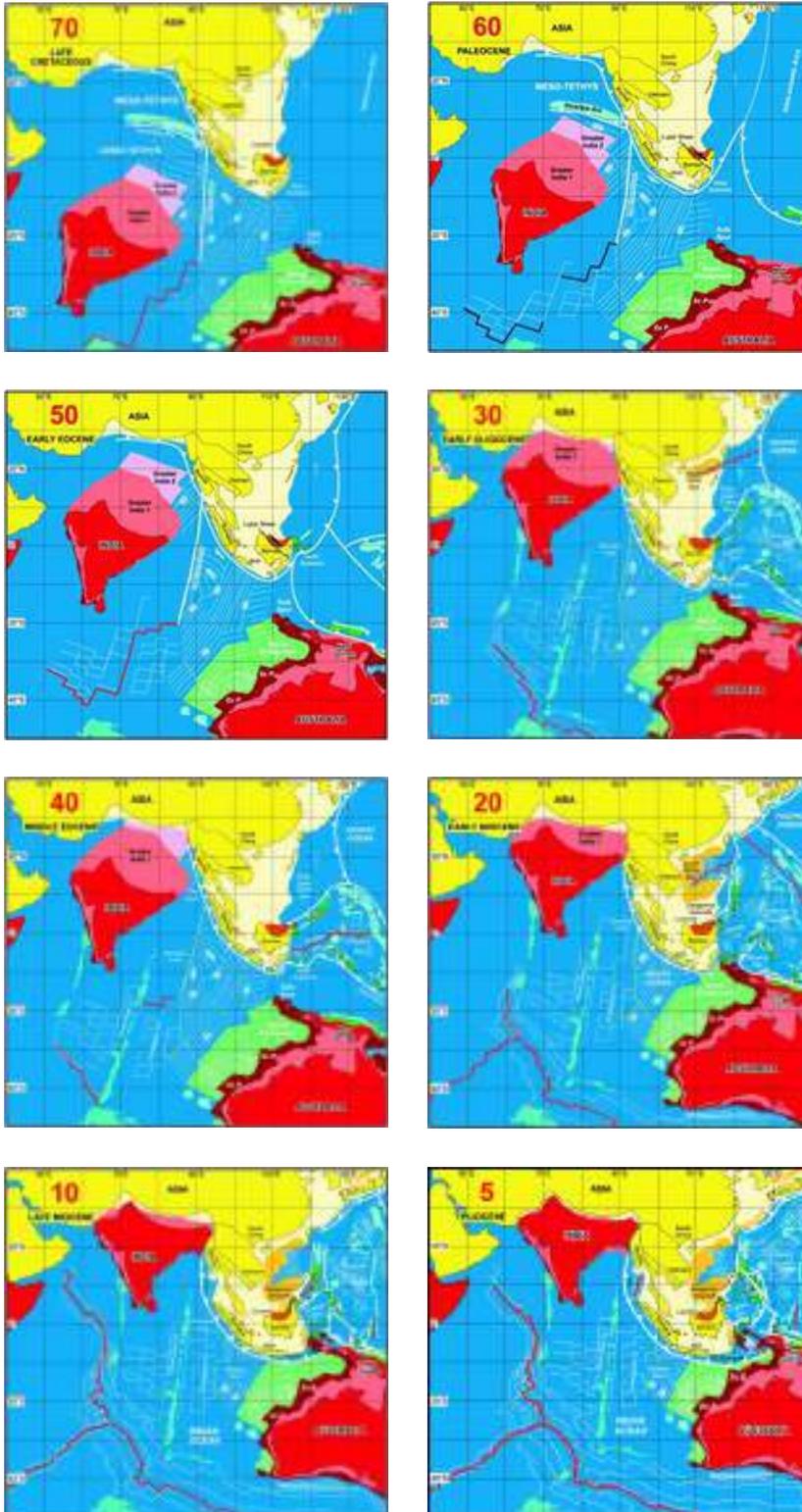
Adalah Alfred Wegener, seorang ilmuwan berkebangsaan Jerman yang pertama kali memperkenalkan teori pengapungan benua (*continental drift*) melalui bukunya yang berjudul "*The Origins of Oceans and Continents*" pada tahun 1915. Ia dianggap memberikan suatu pemikiran yang bersifat radikal pada saat itu, karena mengajukan hipotesa tentang benua-benua yang bersifat *mobile* atau bergerak di permukaan bumi. Hipotesa ini menyebut bahwa bentuk benua-benua yang sekarang ini dahulunya menyatu dan disebut sebagai super-kontinen bernama Pangaea (Gambar 2). Super-kontinen Pangea diduga terbentuk pada 200 juta tyl, kemudian terbelah menjadi dua, yakni Gondwana dan Laurasia pada 180 juta tyl, atau dalam istilah geologi dikenal dengan istilah Zaman Jura (*Jurassic*). Gondwana selanjutnya terbelah membentuk benua Afrika, Antartika, Amerika Selatan, India, Madagaskar, Australia, dan Selandia Baru. Sedangkan Laurasia terbelah menjadi Eropa, Asia, dan Amerika Utara sejak 165 juta tyl. Pada saat benua tersebut terbelah-belah, beberapa samudra baru muncul di sela-selanya. Kemudian pada 150 juta tyl (masa *Jurassic* akhir), Blok Sunda yang sebelumnya bergabung dengan Gondwana mulai bergeser perlahan-lahan ke arah equator dan terus berkembang hingga terbawa ke wilayah Asia Tenggara (Audley-Charles, 1981). Dan, Kepulauan Indonesia yang saat ini kita temui merupakan gabungan antara daratan Gondwana dan Laurasia yang berevolusi sejak jutaan tyl. Menarik bukan?

Gambar.1
Garis Weber
dan Wallacea yang
memisahkan
Persebaran fauna
Indonesia.
(Photo credit:
starfish.ch)

Gambar 2.
Peta Laurasia dan
Gondwana pada
Zaman Jura
(182 juta tyl)
(Photo credit:
<https://dpipwe.tas.gov.au>)



Tahap awal pembentukan Kepulauan Indonesia dimulai pada 53 juta tyl (Masa Eosen Awal), ditandai dengan terpisahnya Australia dan Papua dari Antartika (Gambar 3). Kita dapat mengetahui hal tersebut dari umur mikrofosil yang terdapat dalam batuan yang menandai pemekaran Pematang India-Antartika (*Indian-Antartic Ridge*) dan dari data paleomagnetik (Johnson *et al.*, 1989; Smith dan Briden, 1977). Pada 45 juta tyl (Masa Masa Miosen Tengah), bagian kerak samudra pada Blok Banda yang berumur lebih tua dari 120 juta tyl mencapai jalur subduksi pada selatan Jawa. Palung berkembang ke arah timur sepanjang batas lempeng sampai bagian selatan dari Spur Sula (Banggai, Sula, dan Kepulauan Obi). Daratan Australia dan Papua mendekati ke posisi sekarang ini dan lengan-lengan dari Sulawesi mulai bergabung. Pada 5 juta tyl (Pliosen Awal), jalur-jalur subduksi dan gunung berapi berkembang hampir mendekati keadaan saat ini. Pergerakan lempeng Australia dan Papua ke arah utara masih berlangsung hingga saat ini sebagai hasil dari aktivitas pemekaran pada Pematang India Tenggara (*Southeast Indian Ridge*) antara Australia dan Antartika.



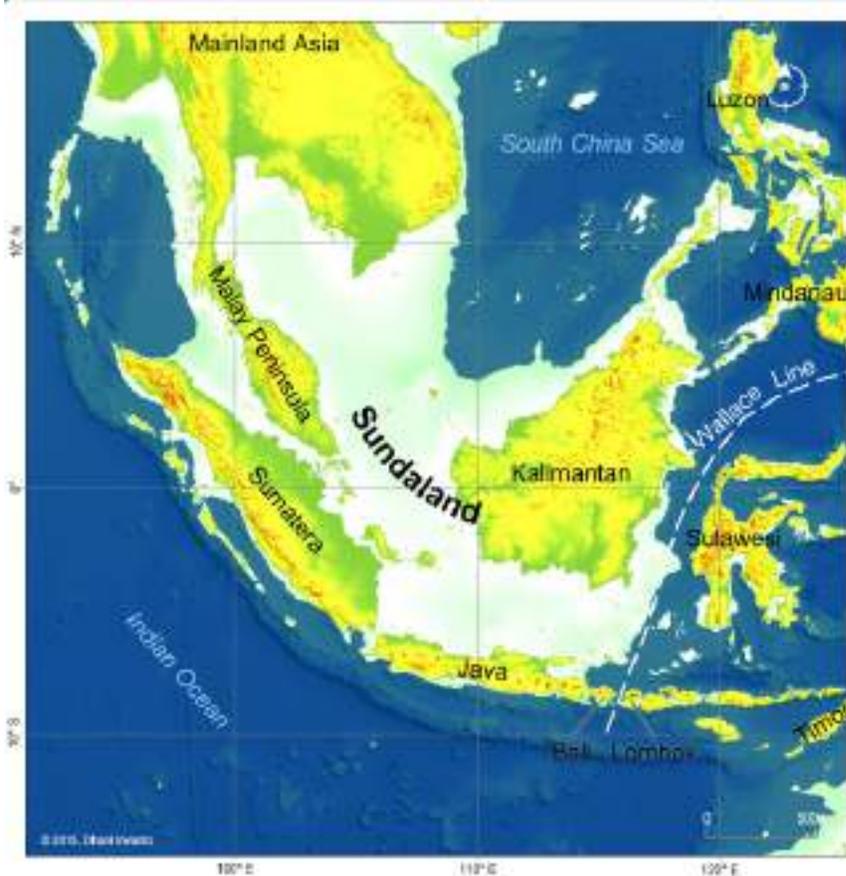
Gambar 3. Evolusi pembentukan Kepulauan Indonesia pada: a) 70 juta tahun yang lalu (Kapur Akhir), b) 60 juta tahun yang lalu (Paleosen), c) 50 juta tahun yang lalu (Eosen Awal), d) 40 juta tahun yang lalu (Eosen Akhir), e) 30 juta tahun yang lalu (Oligosen Tengah), f) 20 juta tahun yang lalu (Miosen Awal), g) 10 juta tahun yang lalu (Miosen Akhir), h) 5 juta tahun yang lalu (Pliosen Awal) (Photo credit: Hall, 2012)

Paparan Sunda

Paparan Sunda atau dikenal sebagai *Sundaland* atau Tanah Sunda adalah sebuah istilah yang merujuk kepada bentang daratan lempeng benua dan landas kontinen di Asia Tenggara yang merupakan dataran di atas permukaan laut ketika permukaan laut jauh lebih rendah pada zaman es terakhir. Tanah Sunda meliputi Semenanjung Malaya, Kepulauan Sunda Besar termasuk Kalimantan, Sumatra, dan Jawa, serta laut dangkal di sekitarnya, yaitu Laut Jawa, Selat Malaka, Selat Karimata, Teluk Siam, dan bagian selatan Laut China Selatan (Gambar 4). Area ini meliputi kawasan seluas 1,85 juta km². Kedalaman laut dangkal jarang sekali melebihi 50 m, dan kebanyakan hanya sedalam kurang dari 20 m, hal ini mengakibatkan kuatnya erosi dasar laut akibat gelombang laut. Tebing curam bawah laut memisahkan Paparan Sunda dari kepulauan Filipina, Sulawesi, dan Kepulauan Sunda Kecil.

Bukti bahwa pulau-pulau Sunda Besar pernah bersatu dengan Benua Asia adalah adanya sebaran jenis mamalia Asia, seperti beberapa jenis kera, gajah, macan, dan harimau yang ditemukan di Benua Asia, Sumatra, Jawa, dan Bali, serta adanya Orangutan baik di Sumatra dan Kalimantan. Paparan ini terbentuk akibat aktivitas gunung api selama beribu-ribu tahun dan erosi massa benua Asia, serta terbentuknya konsolidasi runtuh batu di pesisir seiring naik dan turunnya permukaan laut. Lautan di antara pulau-pulau ini relatif lebih stabil dan berupa dataran purba yang bercirikan rendahnya aktivitas gempa, anomali gravitasi isostatik yang rendah, serta tanpa adanya aktivitas gunung berapi, kecuali bagian pulau Sumatra, Jawa, dan Bali yang terhubung dengan paparan Sunda, dan termasuk kawasan geologi muda sistem orogenik Pegunungan Sunda.

Pada zaman es maksimum (~20 ribu tyl), permukaan laut turun yang menyebabkan kawasan luas Paparan Sunda terbuka dan muncul di atas permukaan air dalam bentuk dataran rawa yang amat luas. Pada masa tersebut, daratan menerus dari Semenanjung Asia tenggara menyeberang ke Sumatra, Jawa, Kalimantan, dan bagian barat Laut Cina Selatan yang dangkal hingga Kepulauan Natuna (Hutchison, 1989). Menurut Katili dan Sudradjat (1984), Sulawesi bagian barat juga merupakan bagian dari Paparan Sunda, namun sekitar 66 juta tyl (Tersier Awal), pembukaan cekungan Makassar menyebabkan Sulawesi bagian barat terpisah dari Kalimantan. Naiknya permukaan air laut pada saat gelombang es di kutub mencair pada 14,6 sampai 14,3 ribu tyl menaikkan permukaan laut setinggi 16 m dalam jangka waktu 300 tahun. Pada saat ini tidak terdapat aktivitas di Paparan Sunda, kecuali pada tepi benua yang aktif (*active continental margin*) dan beberapa patahan dalam Paparan Sunda.



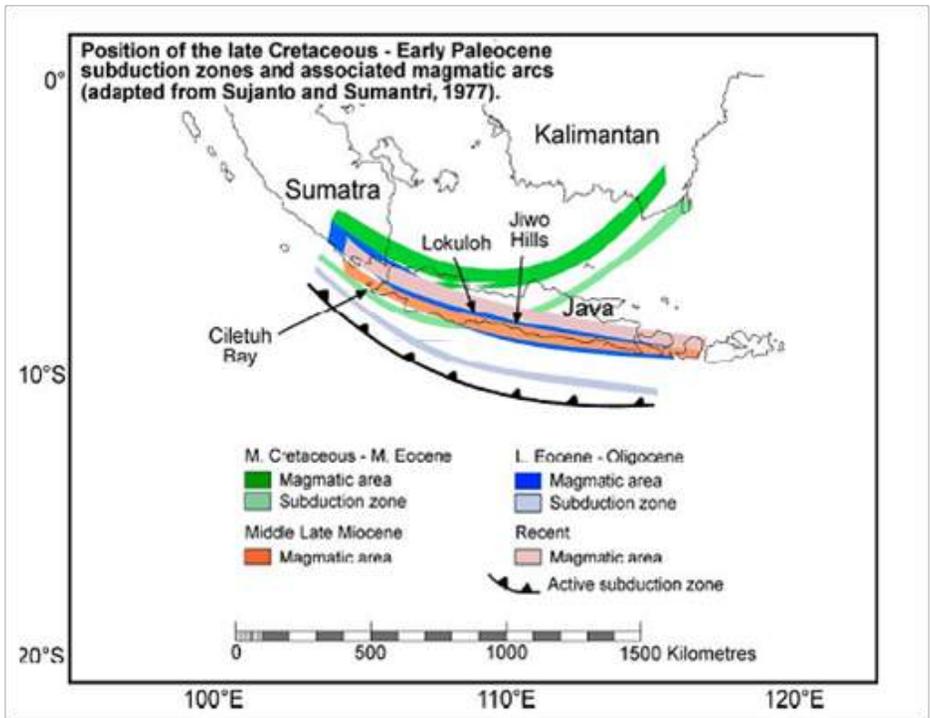
Gambar 4. Fisiografi Paparan Sunda menunjukkan daratan yang terpapar saat zaman es maksimum (Photo credit: <https://atlantisjavasea.com/tag/sunda-shelf/>)

Jawa

Proses terbentuknya Pulau Jawa berlangsung dalam waktu yang sangat lama yakni sekitar 50 juta hingga 65 juta tahun. Susunan batuan dasar yang membentuk Pulau Jawa memiliki asal-usul dan umur yang berbeda satu dengan yang lainnya. Jawa bagian barat diperkirakan telah terbentuk pada akhir Zaman Kapur (145 hingga 65 juta tahun lalu) dan menjadi bagian dari Paparan Sunda (*Sundaland*). Sementara Jawa bagian timur diyakini berasal pecahan kecil benua Australia (sejumlah peneliti menyebutnya sebagai *East Java Microcontinent*). Bagian timur ini diperkirakan mulai ‘menabrak’ dan bergabung dengan bagian barat sekitar 100-70 juta tyl hingga menciptakan bentuk awal Pulau Jawa yang ada saat ini. Artinya, Pulau Jawa terbentuk dari gabungan dua lempeng benua dan bagian barat Pulau Jawa diyakini memiliki umur yang lebih tua dibanding bagian timurnya. Batas di antara kedua bagian ini ditandai dengan adanya sesar purba yang membentang di bawah Sungai Luk Ulo di Kebumen, Jawa Tengah, menyeberangi Laut Jawa dan berakhir di Pegunungan Meratus yang membelah Kalimantan Selatan (Gambar 5) (Natalia *et al.*, 2010).

Saat ini, hanya ada tiga tempat yang memiliki rekam jejak sejarah kebumihan dari masa awal terbentuknya Pulau Jawa, yaitu Teluk Ciletuh (Sukabumi, Jawa Barat), Karangsembung (Kebumen, Jawa Tengah) dan Bayat (Klaten, Jawa Tengah). Rekaman ini tersimpan dalam bentuk singkapan batuan dasar tertua yang berumur hingga sekitar 96 juta tahun. Batuan tersebut tersingkap sebagai akibat dari proses tumbukan antar lempeng disertai dengan erosi yang berlangsung terus-menerus dalam rentang waktu yang sangat panjang, jutaan tahun lamanya.

Gambar 5. Posisi zona subduksi dan busur magmatik pada Kapur Akhir – Pliosen Awal menunjukkan proses pembentukan Pulau Jawa. (Sujanto dan Sumantri, 1977 dalam Natalia *et al.*, 2010).



Secara struktural, Pulau Jawa merupakan bagian dari busur pulau di tepian lempeng daratan yang bertemu dengan kerak lempeng lautan dan bergerak ke utara di bawahnya yang lebih dikenal dengan zona subduksi. Jika melihat kenampakan morfologi, Pulau Jawa dahulunya adalah lautan. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya gunung kapur dan batuan gamping di pesisir selatan Pulau Jawa yang membujur dari barat hingga ke timur Pulau Jawa. Perlu diketahui bahwa gunung kapur atau batuan gamping merupakan endapan laut (bekas koral) di mana di dalamnya seringkali ditemukan fosil-fosil binatang laut. Kemudian sekitar 20 juta tyl, zona tumbukan lempeng Australia dengan lempeng Asia terkunci dan menyebabkan menjamnya lempeng Australia di bawah lempeng Asia. Penunjaman ini berlangsung hingga sekarang dan menyebabkan munculnya gunung-gunung api sebelah selatan Pulau Jawa yang kemudian diikuti oleh proses pengangkatan lempeng

Asia dan keluarnya material-material dari gunung berapi, yang akhirnya terbentuklah Pulau Jawa sekarang (Natalia *et al.*, 2010).

Sumatra

Sumatra membentuk bagian yang terintegrasi dari benua Paparan Sunda. Pulau tersebut terdiri dari batuan busur vulkanik berumur Kenozoik (66 juta tyl hingga sekarang) yang terbentuk di atas Kerak Benua Paleozoik (570-240 juta tyl) (Hutchison, 1989). Proses tektonik Pulau Sumatra berhubungan erat dengan dimulainya peristiwa pertumbukan antara lempeng Benua Indo-Australia dan lempeng Benua Eurasia sekitar 50 juta tyl (Eosen Awal). Tumbukan lempeng tersebut mengalami perlambatan gerak dari 18 cm/tahun menjadi 3 cm/tahun pada Oligosen Awal dan membentuk sesar mendatar 'dextral' Sumatra yang menimbulkan pola rekahan sepanjang sesar sebagai respon terhadap gerak gesernya. Tumbukan lempeng tersebut juga ditandai dengan beberapa kali gerak rotasi sebesar 20-25° ke arah yang berlawanan dengan arah jarum jam, disertai dengan pemisahan Sumatra dari Semenanjung Malaya pada Oligosen Akhir-Miosen Awal dan pembukaan Laut Andaman pada Miosen Atas. Pada saat ini interaksi antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia sudah meningkat dari 40° hingga 65°, tegasan 'kompresi' terjadi menyebabkan pengangkatan bukit barisan dan peningkatan kegiatan vulkanisme.

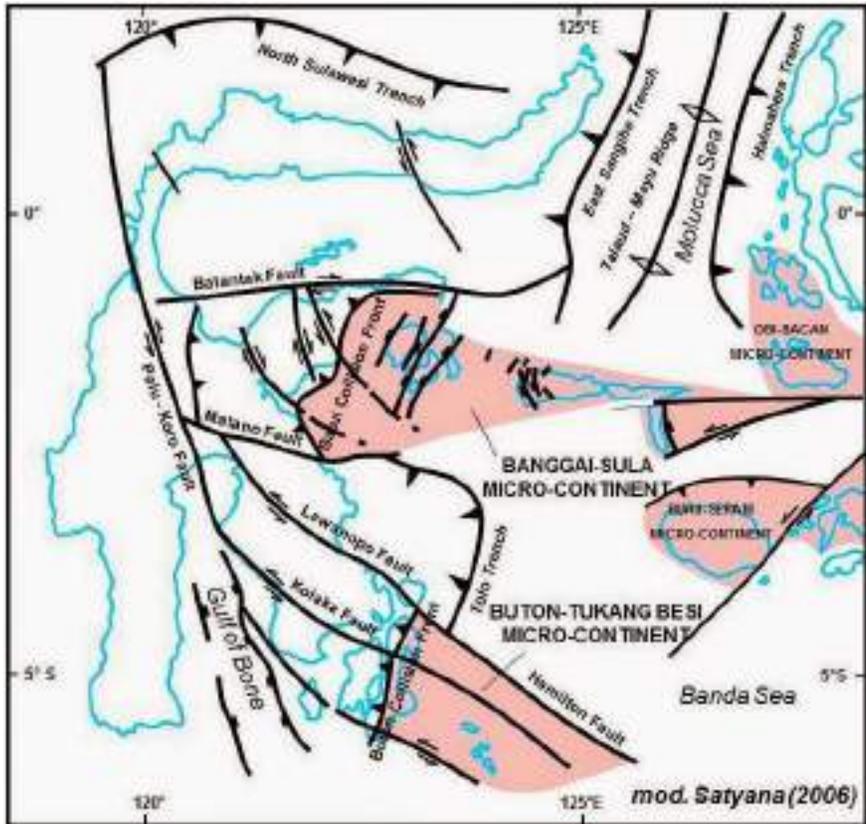
Kalimantan

Kalimantan bagian baratdaya kemungkinan merupakan perpanjangan dari Semenanjung Malaysia (Hartono dan Tjokrosapoetra, 1986), atau merupakan fragmen benua yang berasal dari Indo-China yang terbentuk pada pertengahan Kapur (145-65 juta tyl) atau Kapur Akhir (65 juta tyl) (Hutchison, 1989). Sedangkan Kalimantan bagian tenggara merupakan fragmen mikro-benua yang bergabung dengan Sulawesi baratdaya sebelum pembukaan Selat Makasar pada Zaman Oligosen (30 juta tyl) (Cole *et al.*, 1989).

Kawasan Wallacea/Laut Dalam

Lempeng bumi pinggiran Asia Timur ini bergerak di sela Garis Wallacea dan Garis Weber. Kawasan ini mencakup Sulawesi, Kepulauan Sunda Kecil (Nusa Tenggara), dan Kepulauan Maluku. Flora fauna di kawasan ini banyak yang merupakan jenis-jenis endemik. Namun, kawasan ini memiliki juga unsur-unsur baik dari Kawasan Oriental maupun dari Kawasan Australasia. Wallacea berpendapat bahwa pada Zaman Es laut tertutup es sehingga tumbuhan dan satwa di Asia dan Australia dapat menyeberang dan berkumpul di Nusantara. Kalaupun jenis Asia tetap lebih banyak terdapat di bagian barat dan jenis Australia di bagian timur, hal ini karena Kawasan Wallacea sesungguhnya dulu merupakan palung laut yang teramat dalam sehingga fauna sukar untuk melintasinya dan flora berhenti menyebar.

Gambar 6.
Model benturan
tiga lempeng
Eurasia-Indo
Australia-Pasifik
yang membentuk
Pulau Sulawesi.
(Photo credit:
Satyana dan
Purwaningsih,
2011)



Sulawesi

Sejak lama sejarah terbentuknya Pulau Sulawesi menjadi perdebatan ahli geologi. Profesor John A. Katili merumuskan bahwa terbentuknya Pulau Sulawesi akibat tabrakan dua pulau (Sulawesi bagian Timur dan Sulawesi bagian Barat) antara 19 sampai 13 juta tyl, terdorong oleh tabrakan antara lempeng benua yang merupakan pondasi Sulawesi Timur bersama Pulau-Pulau Banggai dan Sula, yang pada gilirannya merupakan bagian dari lempeng Australia, dengan Sulawesi Barat yang selempeng dengan pulau-pulau Kalimantan, Jawa dan Sumatra. Sulawesi menjadi salah satu wilayah geologis paling rumit di dunia. Sebagai akibat dari tumbukan dan pertemuan tiga lempeng utama, Wilayah Indonesia bagian timur dikatakan sebagai zona geodinamika yang kompleks dan dikenal dengan sebutan *triple junction* (Gambar 6). Dampak dari tumbukan tersebut terbentuk 4 (empat) patahan diantaranya adalah: 1) Patahan Palu-Koro, 2) Patahan Matano, 3) Patahan Saddang, 4) Patahan Gorontalo. Secara sederhana boleh dikatakan bahwa busur Sulawesi Barat lebih vulkanis, dengan banyaknya gunung berapi aktif di Sulawesi Utara dan vulkanik mati di Sulawesi Selatan. Sedangkan busur Sulawesi Timur, tidak ada sisa-sisa vulkanisme, tapi lebih kaya mineral.

Sumber-sumber minyak dan gas bumi dari zaman Tersier tersebar di kedua busur itu, terutama di Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone, serta di Selat Makassar.

Kepulauan Sunda Kecil (Bali – Timor)

Ukuran dari kepulauan ini menurun jika anda berpergian dari barat ke timur melalui kepulauan Bali, Lombok, Sumbawa, Flores, dan Wetar. Berkurangnya ukuran pulau tersebut kemungkinan merupakan refleksi dari sejumlah tunjaman kerak samudra atau bagian timur Pulau Wetar berumur lebih muda (Nishimura dan Suparka, 1986). Tumbukan yang terus menerus dari kerak Benua Australia dengan Kepulauan Alor dan Wetar yang membentuk Pulau Timor terjadi pada Pliosen Awal setelah terjadi penunjaman kerak samudra. Pulau-pulau juga terbentuk atau muncul ke permukaan paska terjadinya tumbukan pada zona ini.

Maluku

Bagian utara Kepulauan Maluku, tepatnya di sekitar Halmahera, secara geologi berhubungan dengan bagian utara Australia atau tepi Papua. Sedangkan kepulauan bagian selatan yang berpusat di Pulau Seram merupakan bagian sistem pemekaran kerak samudra yang terhubung dengan bagian barat laut Australia. Halmahera dimasukan dalam busur Pasifik luar karena kemiripan dengan bagian utara sesar Sorong Papua (Dow dan Sukamto, 1984). Pulau Bakan, Obi, Buru merupakan tepi kraton Australia dan Papua.

Paparan Sahul (Di Bagian Timur)

Paparan Sahul adalah lempeng bumi yang bergerak dari Kawasan Australasia (Benua Australia) dan berada di sisi timur Garis Weber. Garis Weber adalah sebuah garis khayal pembatas antara dunia flora fauna di Paparan Sahul dan di bagian lebih barat Indonesia. Garis ini membujur dari utara ke selatan antara Kepulauan Maluku dan Papua serta antara Nusa Tenggara Timur dan Australia. Garis ini mengikuti nama biolog Max Weber yang, sekitar 1902, memperlihatkan bahwa sebaran flora fauna di kawasan ini lebih serupa dengan yang ada di Benua Australia.

Papua

Pulau Papua adalah pulau yang terbentuk dari endapan (*Sedimentation*) benua Australia dan pertemuan/tumbukan antara lempeng Asia (*Sunda Shelf*) dan lempeng Australia (*Sahul Shelf*) serta lempeng Pasifik sehingga mengangkat endapan tersebut dari dasar laut Pasifik yang paling dalam ke atas permukaan laut menjadi sebuah daratan baru di bagian Utara Australia. Proses pertemuan/tumbukkan lempeng dalam ilmu geologi disebut *Convergent*. Pertemuan/tumbukkan lempeng ini sehingga menyebabkan

terbentuknya gugusan pegunungan Tengah dan gugusan pegunungan di wilayah Kepala Burung (Hamilton, 1979; Dow dan Sukamto, 1984).

Pemisahan daratan Papua, Australia, dan Antartika oleh air laut berawal dari berakhirnya zaman es yang diperkirakan terjadi sekitar 15 ribu tyl. Papua merupakan lempeng Australia sehingga dapat ditemukan berbagai jenis bebatuan yang mirip antara Australia dan Papua. Proses pengangkatan pulau Papua dari Dasar lautan Pasifik sehingga kini telah ditemukan berbagai kerang dan pasir laut di berbagai wilayah pegunungan Tengah dan Pegunungan Kepala Burung. Akibat pengangkatan ini akhirnya pulau Papua mulai terhubung dengan benua Australia sehingga mulai terjadi migrasi Hewan dan Manusia dari daratan Australia ke wilayah Papua sebelum terjadinya pencairan es di kutub akibat adanya pemanasan global. Proses geologi Papua ini baru terjadi sekitar 60 jutaan tahun silam sehingga masih bisa ditemukan kerang di wilayah daratan Papua.

1.2 Bentang Alam Pesisir Indonesia

Pesisir merupakan zona peralihan yang dinamis di mana terjadi pertemuan antara atmosfer, tanah, dan air. Pada kawasan ini terjadi pergerakan sedimen dan nutrien oleh tenaga gelombang laut, pasang surut, dan arus. Pergerakan sedimen dan massa air laut inilah yang membentuk berbagai profil pantai dan menghasilkan bentuk lahan (*landform*) erosional dan deposisional. Selain itu proses pembentukan profil pantai juga didukung oleh adanya pasokan sedimen dari sungai (*fluvial*), endapan sedimen halus yang terbawa angin, dan pelapukan batuan menyusun profil pantai itu sendiri.

Namun proses pembentukan profil pantai dan pesisir tidak saja terjadi dalam waktu singkat melainkan ada juga yang berlangsung dalam kurun waktu puluhan, ratusan, bahkan ribuan tahun lamanya. Proses-proses alam pembentuk profil pantai dalam kurun waktu yang singkat terjadi pada proses siklus pasang surut terutama pada bentukan berm, delta, dan gosong pasir. Sementara pembentukan profil pantai dan pesisir dalam jangka waktu yang panjang biasanya terjadi pada pantai yang batuanannya berasal dari proses struktural, yaitu proses geologi berupa pengangkatan dan penurunan permukaan bumi berlangsung oleh adanya tenaga endogenik (dari dalam Bumi).

Verstappen (2013) membagi pantai di Indonesia menjadi 3 (tiga) tipe utama: pantai lahan rendah (*lowland coast*), pantai berbatu (*rocky coast*), terumbu karang, dan pulau (*coral reef*). Pantai lahan rendah di Indonesia merupakan kenampakan yang dinamis di mana posisinya terus menerus mengalami perubahan dibawah pengaruh proses laut dan sungai (Verstappen, 2013). Pantai lahan rendah memiliki garis pantai yang selalu berubah karena cepatnya akresi akibat kedekatan posisinya dengan muara sungai.

Berbeda dengan pantai lahan rendah, pantai berbatu lebih stabil karena telah tercapai keseimbangan proses jangka panjangnya, misalnya pada dinding terjal atau tebing. Proses perubahan garis pantai dari dinding terjal sangat lambat karena keras dan kuatnya material penyusun pantai untuk dapat tererosi. Pantai terumbu karang terjadi terutama akibat terangkatnya dasar laut yang berterumbu karang. Bentuk-bentuk terumbu karang tersebut dapat berupa terumbu penghalang (*barrier reef*), atol (*atoll reef*), dan terumbu karang tepi (*fringing reef*).

Klasifikasi pantai/pesisir di Indonesia

Kegiatan inventarisasi sumber daya pesisir Indonesia pernah dilakukan melalui proyek *Marine Resources Evaluation and Planning* (MREP) periode tahun 1993-1998 di mana salah satu kegiatannya adalah melakukan klasifikasi tipologi pantai. Tipologi pantai tersebut disusun berdasarkan data geologi, vegetasi, dan data citra penginderaan jauh. Bakosurtanal (saat ini bernama Badan Informasi Geospasial) bersama Universitas Gadjah Mada pada tahun 2004 melakukan klasifikasi tipologi pesisir dengan mempertimbangkan tiga aspek utama, yaitu aspek fisik (geomorfologi), aspek biotik, dan aspek kultural. Masing-masing aspek tersebut diklasifikasikan berdasarkan tingkat kedetilan peta (skala peta), dengan klasifikasi sebagaimana Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel.1
Klasifikasi Tipologi Pesisir Berdasarkan Aspek Fisik

Dasar Klasifikasi	Skala Nasional 1:2.500.000	Skala Regional 1:1.000.000 – 1:250.000	Skala Lokal 1:50.000 atau lebih besar
Referensi	Viles and Spencer (1995), Rijn (1998)	Johnson (1919), Valentin (1952), Bloon (1965), Shepard (1976)	Shepard (1976) dengan modifikasi
Kunci Identifikasi	Komposisi dari material asal	Relief dan bentuk garis pesisir	Relief, bentuk garis pesisir dan genetik pesisir
	Material dominan dan sifat proses	Material dan Asal Proses Dominan	Material, Proses, dan Genesi Pembentuk Pesisir
	A.1. Pesisir Berbatu (Destruksional)	A.1.1. Pesisir erosi darat	1.1.1. pesisir karst tenggelam 1.1.2. pesisir erosi glasial
		A.1.2. Pesisir erosi gelombang	1.2.1. pesisir kikisan gelombang 1.2.2. pesisir bertebing curam (cliff)
		A.1.3. Pesisir Vulkanik	1.3.1. pesisir lava 1.3.2. pesisir breksi vulkanik
		A.1.4. Pesisir Struktural	1.4.1. pesisir sesar 1.4.2. pesisir lipatan 1.4.3. pesisir kubah/lumpur
	A.2. Pesisir Berpasir (konstruksional)	A.2.1. Pesisir endapan marin-aeolian	2.1.1. Pesisir bergumuk pasir 2.1.2. Pesisir bergisik (beting)
		A.2.2. Pesisir endapan sungai	2.2.1. Pesisir berpenghalang 2.2.2. Pesisir berlaguna 2.2.3. Split, Bura, Tombolo 2.2.4. cuspat foreland
	A.3. Pesisir berlumpur (konstruksional)	A.3.1. Pesisir endapan darat	3.1.1. Pesisir berdelta 3.1.2. Pesisir rataan lumpur
		A.3.2. Pesisir organisme	3.2.1. Pesisir rawa payau 3.2.2. Pesisir mangrove
		A.3.3. Pesisir Buatan	3.3.1. Pesisir reklamasi

Tabel. 2
Klasifikasi Tipologi Pesisir Berdasarkan Aspek Biotik

Dasar Klasifikasi	Skala Nasional 1:2.500.000	Skala Regional 1:1.000.000 – 1:250.000	Skala Lokal 1:50.000 atau lebih besar
Dasar Klasifikasi	Ekosistem Dominan	Ekosistem dan	Ekosistem, paras Tingkat kerusakan dan informasi pemanfaatan ruang
	B1. Ekosistem hutan	B.1.1. Hutan dataran rendah B.1.2. Hutan musiman B.1.3. Hutan sejenis	Belum diklasifikasikan secara spesifik, tetapi mengikuti klasifikasi skala regional ditambah informasi spesies dominan, sama ada ekosistem bervegetasi maupun spesies fauna yang dominan. Misalnya: <ul style="list-style-type: none"> • Hutan pesisir tropis basah • Hutan mangrove <i>avicennia</i> • <i>Fringing reef</i>
	B2. Ekosistem mangrove	B.2.1. Hutan mangrove B.2.2. Hutan rawa payau	
	B3. Ekosistem terumbu karang	B.3.1. Terumbu karang baik B.3.2. Terumbu karang rusak	
	B4. Ekosistem non-hutan	B.4.1. Vegetasi pesisir B.4.2. Savana dan stepa B.4.3. Padang rumput B.4.4. Petempatan dan infrastruktur lainnya	

Tabel. 3
Klasifikasi Tipologi Pesisir Berdasarkan Aspek Kultural

Jenis Klasifikasi	Batasan Klasifikasi
1. Dibudidayakan	Kawasan pesisir yang telah dimanfaatkan dan diokupasi (dibudidayakan) oleh penduduk untuk kepentingan hidup dan kehidupannya. Ciri khas: ada penduduk dan atau telah ada tanda-tanda pemanfaatan tanah, seperti untuk pertanian, petempatan dan lain-lain
2. Tidak/belum dibudidayakan	Kawasan pesisir yang tidak atau belum dimanfaatkan dan diokupasi (dibudidayakan) oleh penduduk untuk kepentingan hidup atau kehidupannya. Ciri khas: tidak berpenghuni dan atau belum ada tanda-tanda pemanfaatan tanah, yang boleh berwujud vegetasi maupun tidak bervegetasi, seperti tanah terbiar, berbatu atau berpasir

Klasifikasi tipologi pesisir skala nasional bersifat global merupakan hasil interpretasi dan analisis data sekunder spasial (peta geologi, peta vegetasi, dan citra penginderaan jauh) sehingga kemampuan *professional adjustment* sangat menentukan dalam identifikasi maupun klasifikasi tipologi pantai berdasarkan jenis materi penyusun hasil interpretasi satuan geologi utama, dan ekosistemnya berdasarkan vegetasi utama yang tumbuh dan berkembang pada setiap kawasan pantai (Tabel 4).

No.	Tipologi Pantai	Karakteristik	Keterangan
A. Pantai Berbatu			
1	Pantai berbatu, ekosistem bukan hutan, dibudidayakan	Material dasar yang dominan di daerah pantai adalah berbatu. Tipe pantai ini telah dibudidayakan oleh masyarakat maka kemungkinan mengalami proses destruksional khususnya oleh proses erosi di wilayah daratan. Beberapa vegetasi dominan yang tumbuh di tipe pantai ini jenis tumbuhan pantai yang kurang ekonomis. Oleh karena itu kemungkinan pembudidayaan pantai ini untuk kepentingan pertanian khususnya lahan kering.	Tersebar di 20 provinsi, terpanjang di Provinsi Bangka-Belitung (438,85 km atau 13,86%). Terpendek di Provinsi Lampung (3.25 km)
2	Pantai berbatu, ekosistem hutan, tidak dibudidayakan	Tipe pantai ini merupakan daerah yang masih relatif asli dan sesuai untuk kawasan lindung, karena pantainya berbatu dengan ekosistem hutan dan relatif belum tersentuh oleh intervensi manusia (pembudidayaan). Kemungkinan besar tipe pantai ini berada pada daerah asal vulkanik dan struktural. Arah pengembangan yang mungkin dapat dilakukan dengan resiko minimal adalah pengembangan pariwisata.	Tersebar di 28 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Papua Barat (1.587,69 km atau 18,33%). Terpendek terdapat di Provinsi Papua (11,19 km atau 0,13%)
3	Pantai berbatu, ekosistem hutan, dibudidayakan	Pantai berbatu umumnya memiliki tingkat intensitas pembudidayaan yang relatif rendah, karena material bebatuan sulit untuk diusahakan. Kemungkinan pengembangan usaha adalah di sektor pertambangan. Karena tipe pantai ini berada pada ekosistem hutan, maka pembudidayaan di sektor kehutanan dan pertambangan perlu diwaspadai karena boleh menjadi "ancaman" bagi kelangsungan wilayah pantai tipe ini.	Tersebar di 12 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Maluku Utara (404,33 km atau 36,83%) dan terpendek terdapat di Provinsi Jawa Tengah (8,09 km)
4	Pantai berbatu, ekosistem terumbu karang dibudidayakan	Diantara jenis pantai berbatu, pantai tipe ini paling produktif. Pantai berbatu merupakan daerah potensial tumbuhnya ekosistem terumbu karang. Pantai tipe ini juga potensial bagi tumbuhnya berbagai jenis ikan dan vegetasi perairan laut dan pantai. Selain itu keindahan alam yang menawan juga merupakan nilai ekonomi yang tinggi (strategis). Oleh karena itu sebahagian besar pantai ini telah dibudidayakan. Beberapa kemungkinan pembudidayaan oleh manusia antara lain di sektor perikanan dan pariwisata	Tersebar di 23 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Riau (1.315, 09 km atau 15,92%) dan terpendek di Provinsi Bali 27 km atau 0,33%)

Tabel 4.
Tipologi pantai
Indonesia,
karakteristik,
dan sebarannya



Gambar 7.
Pantai berbatu karang akibat pengangkatan geologi di Pulau Simeulue
(Photo credit: Triyono)

No.	Tipologi Pantai	Karakteristik	Keterangan
B. Pantai Berpasir			
5	Pantai berpasir, ekosistem bukan hutan, dibudidayakan	Pantai ini didominasi oleh material pasir. Karena tipe ini jenis ekosistemnya bukan hutan, maka kemungkinan besar ditumbuhi oleh jenis vegetasi pantai atau padang rumput. Oleh karena itu pantai ini produktivitasnya relatif rendah. Meskipun demikian daerah seperti ini mengalami intensitas pembudidayaan yang cukup tinggi khususnya untuk kegiatan permukiman perdesaan dengan kegiatan pembudidayaan sektor pertanian. Kemungkinan pengembangannya lainnya adalah sektor pariwisata, mengingat pantai berpasir disukai wisatawan.	Tersebar di 19 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Maluku (2.892,90 km) atau 31,07%. Dan terpendek di Provinsi Kalimantan Timur (1,63 km atau 0,02%)
6	Pantai berpasir, ekosistem bukan hutan, tidak dibudidayakan	Sesuai dengan karakter ekosistemnya yang terdiri dari pantai berpasir dan hutan serta relatif belum tersentuh pembudidayaan oleh manusia, maka tipe pantai ini sesuai untuk kawasan lindung pantai yang akan melindungi daerah belakangnya.	Tersebar di 27 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Sulawesi Tengah (976,01 km atau 16,05%). Terpendek terdapat di Provinsi Kalimantan Timur (8,02 km atau 0,13%)
7	Pantai berpasir, ekosistem hutan dibudidayakan	Secara ekologis, pantai ini memiliki karakter yang sama dengan pantai nomer 6, namun tipe pantai ini telah dibudidayakan oleh manusia. Kemungkinan pembudidayaan sangat tergantung pada ketersediaan sumberdaya yang ada. Jika sumberdaya hutan dan tambang menjadi komoditas yang diusahakan, maka resiko kerusakan pantai tinggi. Sebaliknya jika arah pengembangannya pada sektor pariwisata maka resiko lingkungan lebih kecil. Selain itu pada tipe pantai ini juga dimungkinkan tumbuhnya penduduk perdesaan dengan budaya pertanian dan perikanan.	Tersebar di 18 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Maluku Utara (740,12 km atau 34,94%). Terpendek terdapat di Provinsi Maluku (1,67 km atau 0,07%).

Gambar 8.
Pantai berbatu
vulkanik
di Pamengpeuk,
Jawa Barat
(Photo credit:
Triyono)



No.	Tipologi Pantai	Karakteristik	Keterangan
8	Pantai berpasir, ekosistem mangrove dibudidayakan	Pantai berpasir dengan ekosistem mangrove biasanya berlokasi di sekitar muara sungai. Pantai tipe ini memiliki produktivitas dan keanekaragaman hayati yang cukup tinggi, karena mangrove merupakan habitat yang baik bagi tumbuh kembangnya beranekaragam komunitas hewan, ikan, dan vegetasi pantai. Oleh karena itu potensi dan letaknya yang strategis, pantai tipe ini sebagian besar telah dibudidayakan oleh manusia secara intensif bahkan eksploitatif, sehingga cenderung over-exploitation dan menyebabkan kerusakan lingkungan. Beberapa jenis pembudidayaan pantai antara lain peternakan, tambak, industri, permukiman dan pertanian.	Tersebar di 21 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Riau (715,02 km atau 31,40%). Terpendek terdapat di Provinsi Lampung (1,62 km atau 0,07%)
9	Pantai berpasir, ekosistem terumbu karang, dibudidayakan	Pantai tipe berpasir dengan ekosistem terumbu karang umumnya memiliki daya tarik yang paling baik, selain keindahan terumbu karang, jenis pasirmya yang berwarna putih (sebagai hancuran dari material terumbu karang dan hewan laut) banyak menarik wisatawan. Oleh karena itu sebagian besar wilayah ini telah banyak ditempati oleh penduduk untuk permukiman dan dikembangkan untuk sektor pariwisata. Tipe pantai ini sebaiknya dilindungi dari kegiatan-kegiatan pembudidayaan yang merusak lingkungan, misalnya penambangan pasir.	Tersebar di 19 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Maluku (845,06 km atau 32,84%). Terpendek terdapat di Provinsi Bengkulu (11,00 km atau 0,43%)



Gambar 9.
Pantai berpasir
di Muaro
Bingung
Kabupaten
Agam Sumatra
Barat (*Photo
credit: Tubagus
Solihuddin*)



Gambar 10.
Pantai
berlumpur di
muara Sungai
Citarum, Bekasi
Jawa Barat
(*Photo credit:
Triyono*)

No.	Tipologi Pantai	Karakteristik	Keterangan
C. Pantai Berlumpur			
10	Pantai berlumpur, ekosistem bukan hutan, dibudidayakan	Pantai berlumpur selalu berasosiasi dengan keberadaan DAS, di mana endapan lumpur merupakan hasil pengendapan dari daerah atasnya (hinterland). Oleh karena itu tipe pantai ini tergolong pantai konstruktif. Perkembangan delta dan perlumpuran di tepi pantai merupakan contoh tipe pantai ini. Jika ekosistem yang ada bukan hutan dan telah dibudidayakan oleh manusia, maka sebagian besar tipe pantai ini telah tumbuh menjadi kawasan permukiman. Sebagian besar permukiman-permukiman dan kota yang berkembang di Indonesia berada pada tipe pantai berlumpur dan ekosistem non hutan. Tipe pantai ini adalah tipe pantai yang mengalami pembudidayaan paling intensif dan telah mengalami tekanan lingkungan tinggi. Sebagai contoh adanya reklamasi pantai dan pembukaan usaha tambak.	Tersebar di 31 provinsi. Terpanjang terdapat di Maluku (689,74 km atau 12,74%). Terpendek di Provinsi Jawa Tengah (17,26 km atau 0,31%)
11	Pantai berlumpur, ekosistem hutan, tidak dibudidayakan	Pantai berlumpur dengan ekosistem hutan yang belum dibudidayakan menunjukkan bahwa jenis pantai ini relatif masih asli dan belum terjadi kerusakan lingkungan. Tipe pantai ini merupakan barrier atau cadangan ekosistem pantai yang harus dijaga dan dilestarikan. Tipe pantai ini sebaiknya iarahkan untuk kawasan lindung atau suaka alam atau cagar alam.	Tersebar di 16 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Sulawesi Tengah (930,09 atau 25,21%). Terpendek di Provinsi Riau (5,53 km atau 0,15%).
12	Pantai berlumpur, ekosistem hutan dibudidayakan	Pantai berlumpur dan ekosistem hutan adalah kawasan lindung yang cukup baik, namun tidak jarang pantai tipe ini juga telah banyak dibudidayakan. Beberapa jenis pembudidayaan diantaranya adalah untuk kepentingan permukiman dan perikanan, khususnya tambak. Jika pembudidayaan tidak dilakukan secara arif dan bijaksana, maka tidak tertutup kemungkinan akan terjadi kerusakan ekosistem pantai tipe ini semakin parah.	Tersebar di 23 provinsi. Terpanjang di Provinsi Jawa Timur (483,42 km atau 12,98%). Terpendek di Provinsi Kalimantan Timur (7,37 km atau 0,20%)
13	Pantai berlumpur, ekosistem mangrove dibudidayakan	Tipe pantai berlumpur, mangrove dan dibudidayakan adalah tipe pantai yang memiliki nilai ekonomi dan produktivitas tinggi, namun juga mengalami eksploitasi dan kerusakan (degradasi) lingkungan paling berat. Tipe pantai ini terjadi konversi ekosistem besar-besaran, ekosistem mangrove untuk dibudidayakan menjadi tambak ikan, tambak udang, tambak garam, industri, permukiman dan bahkan reklamasi pantai juga dilakukan. Kerusakan ekosistem ini juga menyebabkan kerusakan pada ekosistem daratan seperti adanya intrusi, sedimentasi, dan banjir kota. Tipe pantai ini memerlukan pengawasan dan pengendalian yang ketat dari ancaman kerusakan lingkungan.	Tersebar di 26 provinsi. Terpanjang terdapat di Provinsi Kalimantan Timur (1.932,05 km atau 18,22%). Terpendek terdapat di Provinsi Jawa Tengah (19,03 km atau 0,18%)

1.2.1 Fisiografi Wilayah Laut Indonesia

Secara fisiografi wilayah laut Indonesia dapat dibagi menjadi tiga wilayah: a) daerah Paparan Sunda terletak di bagian barat Indonesia; b) Paparan Sahul di bagian timur Indonesia, dan c) zona transisi (di bagian tengah) (Mulyana dan Salahuddin, 2009). Garis Wallace semula adalah suatu garis yang membatasi fauna dan flora yang berbeda antara bagian timur dan barat. Akan tetapi, garis ini ternyata juga memperlihatkan bentuk fisiografi paparan yang berbeda antara Indonesia bagian barat dan timur. Indonesia bagian barat terdiri dari beberapa pulau besar di mana antara pulau yang satu dengan lainnya dipisahkan oleh laut dangkal. Sedangkan Indonesia bagian timur terdiri dari sederetan pulau berbentuk busur lengkung dipisahkan oleh laut dan palung yang dalam. Bentuk morfologi tersebut umumnya berkaitan dengan proses-proses geologi.

Di sekitar Paparan Sunda (Selat Malaka, Laut Cina Selatan, dan Laut Jawa) berkembang morfologi paparan dengan kedalaman dasar laut rata-rata 130 m. Sedangkan di Kawasan Timur Indonesia seperti di Laut Flores dan Laut Banda mempunyai kedalaman lebih 5.000 m (Gambar 11). Pada umumnya cekungan di Kawasan Timur Indonesia terbentuk sangat bervariasi dan terisi oleh sedimen laut dalam yang sangat tipis. Bentuk-bentuk tersebut tidak terlepas dari pengaruh tumbukan intra mikrokontinen Australia dengan busur Kepulauan Banda. Proses tersebut masih berlangsung hingga kini sehingga sedimen-sedimen yang ada selain terdorong ikut penyusupan juga terakresi. Proses perkembangan morfologi Kawasan Timur Indonesia bahkan membentuk gunung api bawah laut (*Sub-marine volcano*). Posisi kawasan Indonesia yang terletak pada jalur tektonik tersebut berpengaruh besar terhadap bentukan roman dan morfologi dasar laut. Pengaruh langsung tersebut diantaranya adalah terbentuknya wilayah paparan, tepi margin, dan busur kepulauan.



Gambar 11. Fisiografi wilayah laut Indonesia dibagi menjadi 3 (tiga) kawasan: Paparan Sunda, Paparan Sahul, dan Transisi (Photo credit: Mulyana dan Salahuddin, 2009)

A. Morfologi Dasar Laut

Seperti halnya bentuk muka bumi di daratan yang beraneka ragam, bentuk muka bumi di lautan juga beragam. Bedanya bentuk muka bumi di lautan tidak seruncing dan sekasar di daratan. Keadaan ini akibat dari erosi dan pengikisan oleh arus laut. Bentuk-bentuk muka bumi di lautan adalah sebagai berikut:

❖ Landas Kontinen (*Continental Shelf*)

Wilayah laut yang dangkal di sepanjang pantai dengan kedalaman kurang dari 200 m, dengan kemiringan kira-kira 8,4 persen. Lebar *continental shelf* pada berbagai daerah berbeda-beda. *Continental shelf* yang bersambungan dengan pantai yang datar sangat lebar, sedangkan yang bersambungan dengan pantai curam dan bergunung sangat sempit. Contoh, Landas Kontinen Benua Eropa Barat sepanjang 250 km ke arah barat. Dangkal sahul yang merupakan bagian dari benua Australia dan Pulau Irian, landas kontinen dari Siberia ke arah laut Artetik sejauh 100 km, dan Dangkal Sunda yang merupakan bagian dari Benua Asia yang terletak antara Pulau Kalimantan, Jawa dan Sumatra.

❖ Lereng Benua (*Continental Slope*)

Lereng benua merupakan kelanjutan dari *continental shelf* dengan kemiringan lereng lebih curam antara 4 persen sampai 6 persen dengan kedalaman sampai 1.400 m – 3.000 m.

❖ Kaki Kontinen (*Continental rise*)

Kaki kontinen terletak di luar lereng benua dan merupakan peralihan dengan *ocean basin* di bandingkan dengan *continental slope* lerengnya lebih landai dan mempunyai lapisan sedimen yang tebal.

❖ Dasar Samudra (*Ocean Floor*):

Dasar samudra terbagi menjadi dua topografi:

- a. *Deep Sea Plain*, yaitu dataran dasar laut dalam, dengan kedalaman lebih dari 1.000 m.
- b. *The Deep*, yaitu dasar laut yang terdalam yang berbentuk palung laut.

Pada dasar samudra terdapat relief bentukan antara lain (Gambar 12):

1. *Abyssal plain* (dataran abisal),

Dataran abisal merupakan bagian terbesar dari topografi dasar laut dan paling rata di bandingkan dengan bentuk topografi dasar laut yang lain. Apabila pada bagian tertentu reliefnya lebih kasar maka disebut *abyssal hill*.



Gambar 12. Penampang morfologi dasar laut (Photo credit: ilmugeografi.com)

2. *Plateu*

Dataran tinggi dasar laut dengan bagian puncaknya yang relatif datar dan disebut juga mesas. Bagian atasnya masih lebih dalam dari 200 m (*shelf*).

3. *Gunung laut*

Gunung yang kakinya di dasar laut sedangkan badan puncaknya muncul ke atas permukaan laut dan merupakan sebuah pulau. Contoh: Gunung Krakatau.

4. *Sea mount*

Gunung api di dasar laut dengan lereng yang curam dan berpuncak runcing serta kemungkinan mempunyai tinggi sampai 1 km atau lebih tetapi tidak sampai ke permukaan laut. Contoh: St. Helena, Azores da Ascension di Laut Atlantik.

5. *Guyot*

Gunung api di dasar laut yang bentuknya serupa dengan *Sea mount* tetapi bagian puncaknya datar. Banyak terdapat di lautan Pasifik.

6. *Punggung laut (ridge)*

Punggung pegunungan yang ada di dasar laut. Contoh: punggung laut Sibolga.

7. *Ambang laut (drempel)*

Pegunungan di dasar laut yang terletak di antara dua laut dalam. Contoh: ambang laut sulu, ambang laut sulawesi.

8. **Lubuk laut (*basin*)**
yaitu dasar laut yang bentuknya bulat cekung yang terjadi karena ingresi. Contoh: lubuk laut sulu, lubuk laut sulawesi.
9. **Rangkaian pulau (*island arc*)**
Rangkaian pulau-pulau seperti rangkaian pulau-pulau di Kepulauan Hawaii, Kepulauan Marshall yang ada di Samudra Pasifik.
10. **Palung laut (*trough*)**
Lembah yang dalam dan memanjang di dasar laut terjadi karena ingresi. Contoh: Palung Sunda, Palung Mindanao, Palung Mariana.

BAB II

Keanekaragaman Sumber Daya Non-Hayati

Wisnu Arya Gemilang

*Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, Padang
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Tubagus Solihuddin

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Ira Dillenia

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Rikha Bramawanto

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Ifan Ridlo Suhelmi

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Sitasi:

Gemilang W.A., Solihuddin T., Dillenia I., Bramawanto R. & Suhelmi I.R. 2019. Keanekaragaman Sumber daya Non-Hayati, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Keanekaragaman Sumber Daya Non Hayati

Van Bemmelen (1949), penulis *“The Geology of Indonesia”*, menyebut Indonesia sebagai *“the most intricate part of the earth’s surface”*. Lebih lanjut, van Bemmelen meramalkan bahwa akan banyak kemajuan dalam geosains yang dihasilkan dari penelitian-penelitian di Indonesia. Menutup kekagumannya akan Indonesia, van Bemmelen menulis, *“The East Indies are an important touchstone for conceptions on the fundamental problems of the geological evolution of our planet”*. Van Bemmelen rupanya tidak berlebihan, lebih dari 50 tahun kemudian, Hall dan Blundell (1996), para penyunting buku *“Tectonic Evolution of Southeast Asia”* menulis di pengantar bukunya, *“SE Asia is probably the finest natural geological laboratory in the world”*. Hall dan Blundell adalah anggota *SE Asia Research Group, University of London*, sebuah lembaga riset yang telah menekuni penelitian geologi di Indonesia sejak awal tahun 1970an.

2.1 Kondisi Geologi yang Unik

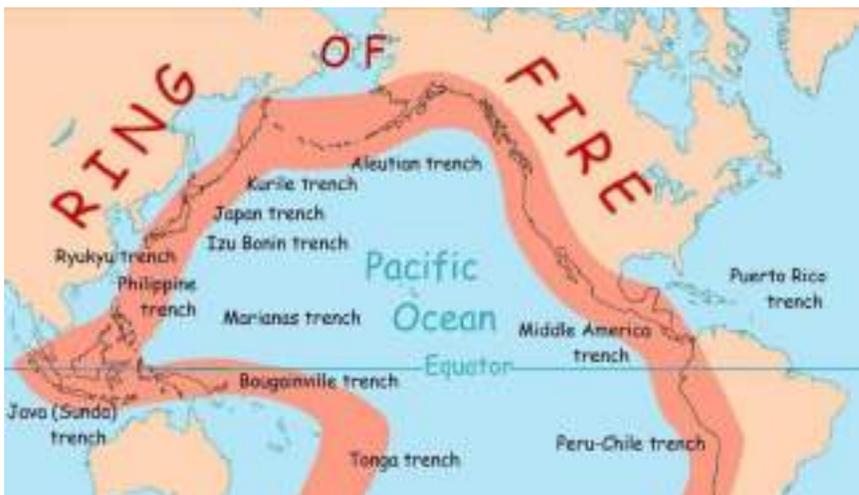
Indonesia merupakan wilayah dengan ancaman intensitas bencana gempa bumi dan tsunami yang cukup tinggi. Banyaknya gunung aktif serta bentuknya yang berupa negara kepulauan adalah sebagian faktor yang mempengaruhi seringnya terjadi bencana di Indonesia. Tercatat sebanyak 17 bencana tsunami besar di Indonesia selama hampir satu abad setelah kejadian tsunami besar Gunung Krakatau yang menewaskan sekitar 36.000 jiwa pada tahun 1883. Gempa dan tsunami besar yang terakhir adalah tsunami Aceh pada 2004 yang menewaskan kurang lebih 150.000 orang. Kemudian disusul gempa Pulau Nias dan sekitarnya pada 2005 yang menelan korban sekitar 1.000 jiwa, serta gempa yang terjadi pada akhir 2006 yang menimpa Yogyakarta dan sebagian Jawa Tengah yang menelan korban sekitar 5.000 jiwa dan bencana Gunung Merapi dan tsunami Mentawai pada akhir 2010.

Selain itu, terjadi banyak sekali gempa-gempa lain di Indonesia pada setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan posisi Indonesia yang dikepeng oleh tiga lempeng tektonik dunia yakni Lempeng Indo-Australian, Eurasia, dan Lempeng Pasifik yang apabila bertemu dapat menghasilkan tumpukan energi

yang memiliki ambang batas tertentu. Selain itu, Indonesia juga berada pada *Pacific Ring of Fire* yang merupakan jalur rangkaian gunung api aktif di dunia yang setiap saat dapat meletus dan mengakibatkan datangnya bencana. Catatan Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (DVMBG) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa ada 28 wilayah di Indonesia yang dinyatakan rawan gempa dan tsunami. Di antaranya NAD, Sumatra Utara, Sumatra Barat, Bengkulu, Lampung, Banten, Jateng dan DIY bagian selatan, Jatim bagian selatan, Bali, NTB dan NTT, kemudian Sulut, Sulteng, Sulsel, Maluku Utara, Maluku Selatan, Biak, Yapen dan Fak-Fak di Papua.

Indonesia merupakan bagian dari jalur *The Pacific Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) (Gambar 13) yang membentang di antara subduksi maupun pemisahan Lempeng Pasifik dengan Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Amerika Utara dan Lempeng Nazca yang bertabrakan dengan lempeng Amerika Selatan. Jalur ini membentang mulai dari pantai barat Amerika Selatan, terus ke pantai barat Amerika Utara, lalu melingkar ke Kanada, Semenanjung Kamsatschka, Jepang, melewati Indonesia, Selandia baru, dan Kepulauan di Pasifik Selatan (Gambar 13). Indonesia memiliki gunung berapi dengan jumlah kurang lebih 240 buah, di mana hampir 70 di antaranya masih aktif.

Zona kegempaan dan gunung api aktif Circum Pasifik amat terkenal, karena setiap gempa hebat atau tsunami dahsyat di kawasan itu, dipastikan menelan korban jiwa manusia amat banyak. Sekitar 90 persen dari gempa bumi di dunia dan 80 persen dari gempa bumi terbesar di dunia terjadi di sepanjang Cincin Api. Berikutnya, wilayah dengan aktivitas seismik (5-6 persen dari gempa bumi dan 17 persen dari gempa bumi terbesar di dunia) adalah sabuk Alpide, yang membentang dari Jawa ke Sumatra melalui Himalaya, Mediterania, dan keluar ke Atlantik. *Mid-Atlantic Ridge* adalah



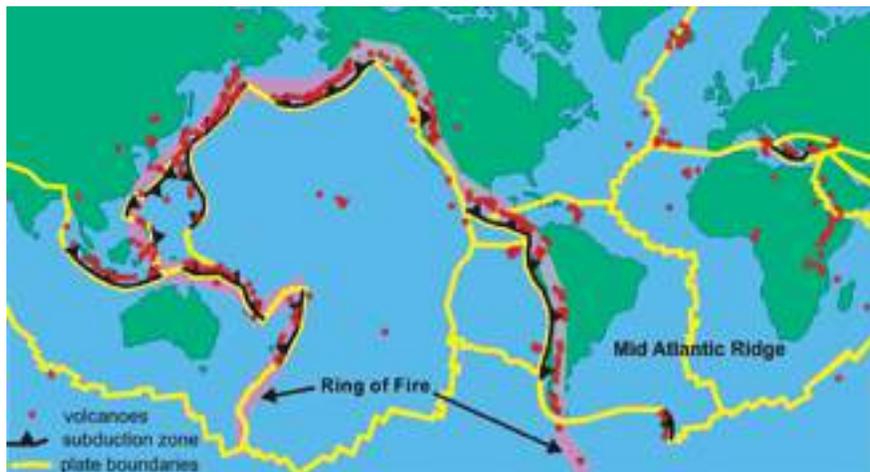
Gambar 13. Rangkaian Cincin Api Pasifik (Photo credit: National Geographic)

sabuk ketiga tempat sering terjadinya gempa. Indonesia terletak di antara Cincin Api sepanjang kepulauan timur laut berbatasan langsung dengan New Guinea dan di sepanjang sabuk Alpide Selatan dan barat dari Sumatra, Jawa, Bali, Flores, dan Timor yang terkenal sangat aktif bahkan yang teraktif di antara tempat lainnya yang termasuk dalam Ring Api Pasifik. Daerah tersebut terbentuk dari daerah sub-bagian antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Kenyataannya keadaan geografis Indonesia ini tidak diantisipasi oleh masyarakatnya. Akibatnya, bencana selalu menimbulkan korban jiwa dalam jumlah besar.

Pada tahun 1960-an para ahli mengemukakan sebuah teori yang dinamakan "lempeng tektonik", yang menjelaskan tentang lokasi gunung berapi dan gejala-gejala geologi. Menurut teori tersebut, permukaan bumi terbentuk dari rangkaian lempeng-lempeng tektonik dengan ketebalan lebih kurang 80 km, di mana lempeng-lempeng tersebut bergerak, berubah posisi dan ukuran dengan kecepatan 1-10 cm per tahun. Di bawah laut terus menerus terjadi pembentukan kerak bumi akibat lava yang keluar dari gunung berapi bawah laut yang langsung bertemu dengan air laut sehingga mengeras. Maka untuk memberi ruang pada dasar laut yang baru jadi tersebut semua lempeng bumi bergerak, dan saat mereka bergerak terjadilah aktivitas geologi pada tepian lempeng tersebut.

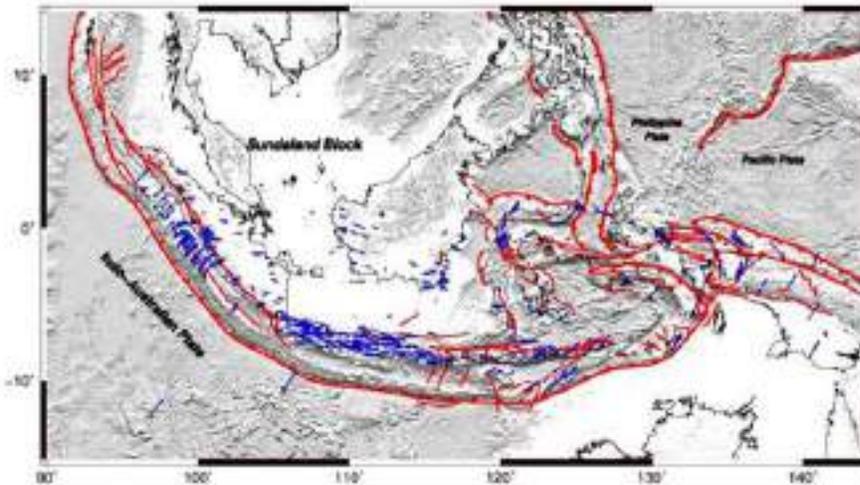
Ketika lempeng bumi bergerak dapat terjadi tiga kemungkinan:

- ❖ Lempeng-lempeng bergerak saling menjauhi sehingga memberikan ruang untuk dasar laut yang baru.
- ❖ Lempeng saling bertumbukan yang menyebabkan salah satu lempeng terdesak ke bawah dari lempeng yang lain.
- ❖ Tepian lempeng meluncur tanpa pergesekan yang berarti.



Gambar 14.
Pergesekan lempeng tektonik pembentuk Ring of Fire
(Photo credit: <https://natureinjapan.wordpress.com/about/living-with-the-forces-of-nature/earth-fire-above-the-pacific-ring-of-fire-lies-japan/>)

Posisi Indonesia yang terletak di antara Cincin Api dan Sabuk Alpide membuat Indonesia banyak dikelilingi gunung berapi aktif dan sering mengalami terjadi gempa. Gunung berapi di Indonesia terbentuk dalam zona subduksi lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Penelitian lanjutan menggunakan informasi geodetik, geologis, dan seismologis menunjukkan bahwa tektonik di Indonesia dapat dibagi ke dalam beberapa lempeng kecil, yaitu Burma, Sunda, Laut Banda, Laut Maluku, Timur dan Kepala Burung Maoke dan Woodlark (Gambar 15).

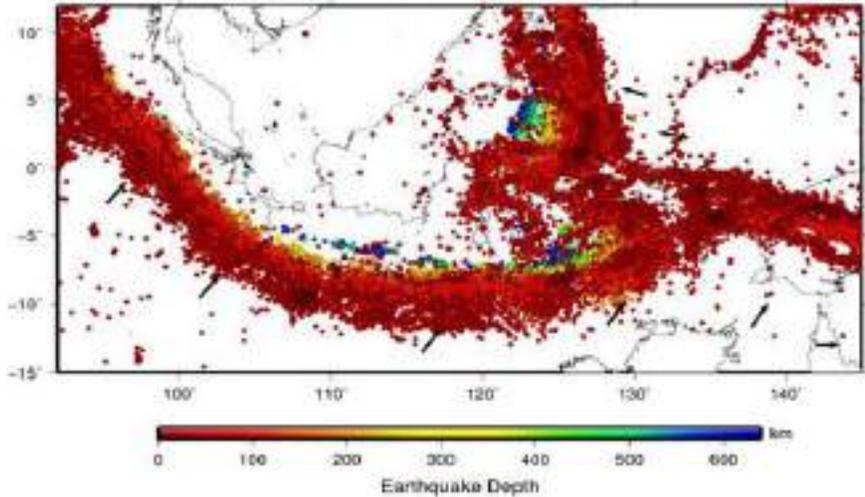


Gambar 15. Peta tektonik wilayah Indonesia dari data geodetik hingga tahun 2016 (Photo credit: Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Sebagai akibat dari proses tektonik yang terjadi, peristiwa gempa sering terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia sebagaimana terlihat pada Gambar 16. Salah satu sumber gempa yang telah jelas teridentifikasi adalah zona subduksi aktif bagian barat hingga bagian timur Indonesia. Selain itu sisa energi dari proses tumbukan antar lempeng tersebut akan mengakibatkan adanya sesar di daratan atau lautan di beberapa pulau dan laut Indonesia.

Di bagian barat Indonesia, proses penunjaman Lempeng Indo-Australia ke dalam Lempeng Eurasia di barat Sumatra mengakibatkan kejadian gempa dengan nilai magnitudo 8 atau 9, seperti yang terjadi pada gempa tahun 2004 di Aceh ($M_w=9,2$), di Nias tahun 2005 ($M_w=8,7$), di Bengkulu tahun 2007 ($M_w=8,5$), dan di Mentawai tahun 2010 ($M_w=7,8$). Gempa di Aceh tahun 2004 dinilai oleh National Geographic sebagai bencana alam terburuk urutan nomor 2 sepanjang masa, berdampak pada 14 negara, menyebabkan kematian lebih dari 220.000 jiwa, 1,5 juta lebih penduduk kehilangan tempat tinggal, serta kerugian ekonomi 10 miliar USD. Adapun di Selatan Jawa, gempa yang terjadi di Pacitan tahun 1994 ($M_w=7,8$) dan Pangandaran tahun 2006 ($M_w=7,8$) telah mengakibatkan gelombang tsunami dengan tinggi mencapai ~20m (Mori *et al.*, 2007; Fritz *et al.*, 2007). Zona subduksi di bagian selatan Jawa “hanya” menghasilkan kejadian gempa dengan kelas magnitudo 7 dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Meskipun salah satu penelitian terakhir

Gambar 16.
Gempa di
Indonesia hasil
relokasi hingga
2016
(Photo credit:
Pusgen, 2017)



menunjukkan bahwa potensi gempa dengan kelas nilai magnitudo 8 atau 9 mungkin terjadi di zona subduksi di bagian barat Jawa (Hanifa *et al.*, 2014).

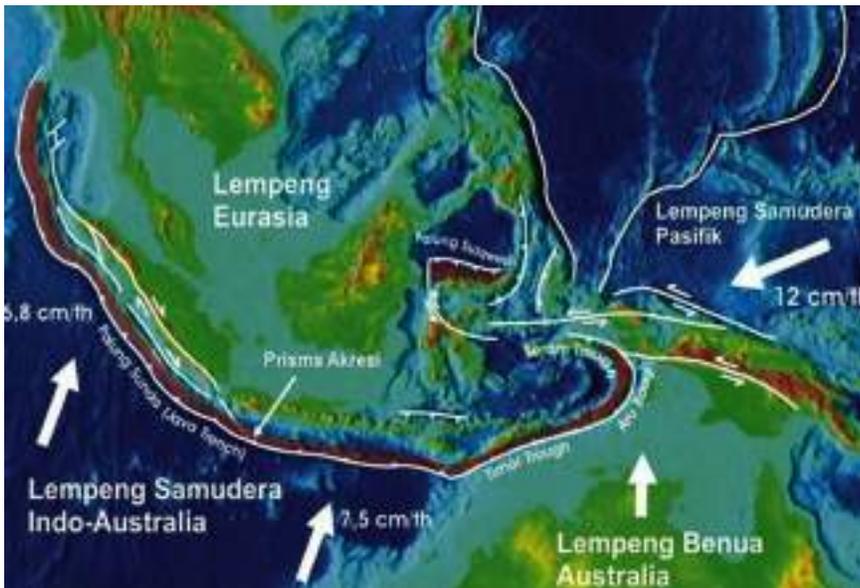
Selain di barat Sumatra dan selatan Jawa, zona subduksi juga telah diidentifikasi keberadaannya di sekitar Halmahera dan utara Sulawesi. Setidaknya gempa magnitudo 7.1 telah terjadi di zona subduksi Sangihe di tahun 2014. Selain itu, gempa *swarm* juga telah diidentifikasi kejadiannya di tahun 2015 di daerah ini (Gunawan *et al.*, 2016). Gempa *swarm* adalah sebuah peristiwa di mana suatu area lokal mengalami aktivitas gempa yang memiliki magnitudo kecil ($M < 5$) tanpa adanya gempa kuat sebagai gempa utama. Durasi terjadinya gempa *swarm* bervariasi antara harian, mingguan atau bulan (Hidayat dan Santoso, 2014).

Beberapa kejadian gempa darat merusak dalam dekade terakhir seperti gempa Yogyakarta 2006 ($M_w=6,3$), gempa Padang ($M_w=7,6$) pada September 2009, serta terakhir gempa Pidie Jaya di Aceh pada Desember 2016 ($M_w=6,5$). Gempa-gempa yang terjadi dalam dekade terakhir tersebut mengakibatkan kehilangan jiwa serta kerugian material yang mempengaruhi sektor ekonomi dan pembangunan. Besar kerugian secara ekonomi yang terjadi sejak tahun 2004-2010 bervariasi dari US\$ 39 juta sampai dengan US\$ 4,7 Miliar dan menyebabkan lebih dari 250.000 korban jiwa berdasarkan data dari BNPB dan UNISDR.

2.2 Kontrol Geologi Terhadap Keanekaragaman Sumber Daya Non-Hayati

Indonesia merupakan daerah pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatra, Jawa,

dan Nusa Tenggara. Sedangkan dengan Pasifik di utara Irian dan Maluku utara (Gambar 17). Di sekitar lokasi pertemuan lempeng terjadi akumulasi energi tabrakan terkumpul sampai suatu titik di mana lapisan bumi tidak lagi sanggup menahan tumpukan energi sehingga lepas berupa gempa bumi. Pelepasan energi sesaat ini menimbulkan berbagai dampak terhadap bangunan karena percepatan gelombang seismik, tsunami, longsor, dan liquifaksi. Besarnya dampak gempa bumi terhadap bangunan bergantung pada beberapa hal; di antaranya adalah skala gempa, jarak epicenter, mekanisme sumber, jenis lapisan tanah di lokasi bangunan dan kualitas bangunan.



Gambar 17. Kondisi Tektonik Kepulauan Indonesia (Photo credit: <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/dekade-teror-gempa-sumatra/>)

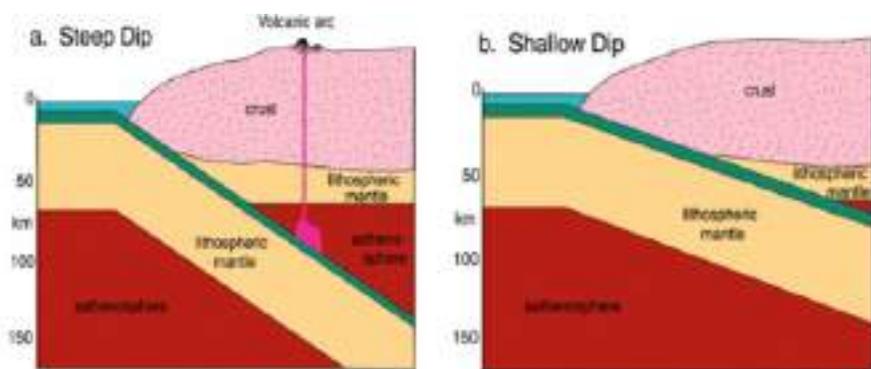
Peristiwa tektonik yang cukup aktif, selain menimbulkan gempa dan tsunami, juga membawa berkah dengan terbentuknya banyak cekungan sedimen (*sedimentary basin*). Cekungan ini mengakomodasikan sedimen yang selanjutnya menjadi batuan induk maupun batuan resapan minyak (*reservoir hydrocarbon*). Kandungan minyak dan gas alam inilah yang kini banyak kita tambang dan menjadi tulang punggung perekonomian kita hingga tahun 1990-an.

Posisi geologi Indonesia yang berada di antara pertemuan tiga lempeng tersebut juga mengakibatkan Indonesia mempunyai tatanan tektonik yang kompleks dari arah zona tumbukan yaitu *Fore arc*, *Volcanic arc* dan *Back arc*. *Fore arc* merupakan daerah yang berbatasan langsung dengan zona tumbukan atau sering disebut sebagai zona aktif akibat patahan yang biasa terdapat di darat maupun di laut. Pada daerah ini, material batuan penyusun utama lingkungan ini juga sangat spesifik serta mengandung potensi sumber daya alam dari bahan tambang yang cukup besar. *Volcanic arc* merupakan jalur

pegunungan aktif di Indonesia yang memiliki topografi khas dengan sumber daya alam yang khas juga. *Back arc* merupakan bagian paling belakang dari rangkaian busur tektonik yang relatif paling stabil dengan topografi yang hampir seragam berfungsi sebagai tempat sedimentasi. Semua daerah tersebut memiliki kekhasan dan keunikan yang jarang ditemui di daerah lain, baik keanekaragaman hayatinya maupun keanekaragaman geologinya.

Continental arc atau busur benua merupakan bagian dari proses di atas. Busur benua menjadi jalur gunung api/vulkanik yang terbentuk ketika lempeng samudra bertemu dengan lempeng benua. Lempeng samudra ini kemudian menunjam miring di bawah lempeng benua, lalu pada lempeng benua (sebagai *overriding plate*) terbentuk jalur gunung api hasil peleburan sebagian lempeng samudra yang menghujam dan mantel di sekitarnya pada kedalaman 100-150 km (Gambar 18). *Continental arc* dikenal juga sebagai *Island arc*, yang merupakan busur kepulauan yang terbentuk akibat terjadinya pergerakan lempeng samudra dari *Mid Oceanic Redge* (MOR) yang secara terus menerus sehingga membentuk suatu busur kepulauan. Dilihat dari gambar 18, *island arc* terletak pada zona subduksi karena *island arc* yang sudah terbentuk dibawa oleh pergerakan lempeng samudra. Magma yang dihasilkan bersifat basah.

Gambar 18. Skema diagram untuk menggambarkan bagaimana *dip* curam (kiri) dapat mendorong keluar astenosfer dari mantel atasnya dan *dip* dangkal (kanan) mensubduksi kerak (Photo credit: Usman, 2014)



Proses dalam gambar di atas memperlihatkan sifat magma busur kepulauan yang cenderung bersifat *mafic-intermediate* atau basa-menengah; tetapi sifat magma busur benua akan cenderung bersifat *intermediate-silicic* atau menengah-asam. Dan perbedaan jenis magma ini akan berpengaruh kepada aktivitas gunung api dan proses pembentukan mineral, artinya akan punya implikasi ke masalah kebencanaan dan mineral ekonomis.

Indonesia adalah negara rawan gempa. Hal ini terjadi karena letak Indonesia yang merupakan pusat pertemuan dari lempeng-lempeng antara lain Eurasia, Filipina, Caroline, Indo-Australia, Pasifik, dan beberapa lempeng minor lainnya (Hamilton, 1979). Selain itu juga disebabkan oleh aktifitas tektonik dari lempeng-lempeng tersebut yang terus bergerak seperti halnya

lempeng Eurasia dan Indo-Australia yang memiliki pergerakan rata-rata ke arah utara, sedangkan pergerakan lempeng Filipina cenderung ke arah barat laut (Hamilton, 1979; Puspito *et al.*, 1995). Terkait dengan lempeng Filipina, lempeng Caroline memiliki pergerakan ke arah tenggara di bagian palung Aru dan ke arah barat laut di bagian palung Yap (Seno *et al.*, 1993).

Proses utama tektonik di daerah geologi Indonesia untuk daerah busur magma dan asosiasinya terhadap proses pembentukan mineral emas dan tembaga dibagi menjadi:

❖ **Pembentukan *ophiolite*, tumbukan, dan perubahan busur**

Pembentukan *ophiolite* terjadi karena pengangkatan kerak samudra sebagian hasil pemekaran rantai samudra, naik ke atas kerak benua yang pasif dan dipengaruhi juga aktivitas intrusi andesitik pada kerak yang ditumpangi. Secara tektonik, *ophiolite* yang terbentuk mendorong terjadinya pembentukan patahan pada busur belakang sehingga mengakibatkan perubahan subduksi pada ke arah baru. Pada kerak benua yang ditumpangi terjadi pemekaran sehingga terbentuk cekungan di busur belakang. Oleh karena lempeng terus bergerak, pemekaran dan subduksi terjadi bersamaan sehingga potensi cebakan endapan mineral terbentuk tinggi karena aktivitas tersebut yang langsung berhubungan dengan magma.

❖ **Busur Magmatik**

Tipe busur magmatik di Indonesia terbagi atas mafik dan andesitik. Batuan mafik vulkanik lebih banyak berada pada daerah bekas laut, yang didominasi basalt atau basaltik–andesit dan generasinya. Akan tetapi dominasi busur magmatik Indonesia adalah busur andesitik yang banyak ditemukan di sekitar daerah perairan dangkal. Dominasi *rhyolit* yang membatasi dan menyusun rantai benua. Intrusi andesitik ini mengindikasikan bahwa terjadi tekanan lemah yang mengakibatkan tarikan sepanjang busur dan mungkin berhubungan dengan mundurnya palung di daerah subduksi lempeng samudra.

Endapan bijih epithermal adalah endapan yang terbentuk pada lingkungan hidrothermal dekat permukaan, mempunyai temperatur dan tekanan yang relatif rendah serta berasosiasi dengan kegiatan magmatisme kalk-alkali sub-aerial. Beberapa endapan epithermal pada umumnya, tapi tidak selalu, dijumpai dalam produk vulkanik (dan sedimen vulkanik). Dalam sistem epithermal sulfidasi rendah, fluida magmatik yang didominasi gas (SO₂ dan HCl) direduksi pada saat bereaksi dengan batuan samping (*wall rock*) sehingga terjadi dilusi (pengenceran) akibat adanya sirkulasi fluida morik (air hujan).

Proses tersebut terjadi pada bagian bawah dari sistem sulfidasi rendah yang membawa zat volatil, termasuk unsur logam di dalamnya. Hal ini

menyebabkan fluida didominasi oleh H²S sebagai sumber sulfur yang paling besar yang juga melarutkan garam (terutama NaCl) pada temperatur 170-270°C dan kedalaman 50-1000 m (Corbett dan Leach, 1996). Endapan epithermal logam dasar dan mulia adalah banyak macamnya, mencerminkan perbedaan tektonik, batuan bek, dan kedudukan strukturnya di mana mereka terbentuk, dan melibatkan banyak proses di dalam pembentukannya. Kebanyakan dari endapan epitermal terbentuk dalam suatu level kerak bumi yang dangkal, di mana perubahan tiba-tiba dalam kondisi fisik dan kimianya menghasilkan endapan logam dan hadir bersama ubahan hidrotermal (White dan Hedenquist, 1995).

Mineralisasi emas di Indonesia terbentuk pada busur andesitik yang terjadi dalam rentang Cretaceous (138-66 juta tyl) hingga Pliosen (5,3-1,8 juta tyl), terutama pada usia Neogen. Pada masa tersebut, lempeng-lempeng yang menyusun Indonesia mulai mengalami pertemuan dan membentuk zonasi tertentu secara aktif. Setiap busur dicirikan oleh mineralisasi spesifik yang menunjukkan bahwa dasar busur berhubungan dengan tumbukan awal dan perubahan dalam polaritas tektonik dan tingkat erosi. Tipe deposit emas yang teridentifikasi di Indonesia adalah porfiri tembaga-emas, skarn, sistem *high* dan *low epithermal sulphidation*, emas *sediment-hosted*, deposit Au-Ag-barite + base metals dan tipe Kelian, yaitu peralihan tipe porfiri ke sistem epitermal (Gambar 19). Endapan emas epitermal bentuknya adalah sangat bervariasi, dari urat-urat kuarsa tipis sampai deposit endapan yang besar, dan terdapat dalam lingkungan geologi yang berbeda, oleh karena itu mereka memperlihatkan suatu rentang yang lebar dari tanda-tanda geokimia dan geofisika, juga ciri-ciri tonal penginderaan jauh (Sumardi, 2009).

2.2.1 Sumber Daya Mineral

Indonesia memiliki potensi sumber daya mineral yang sangat besar. Sumber daya mineral terbentuk melalui pembentukan pegunungan, aktivitas magma pada gunung api dan proses sedimentasi yang berlangsung secara terus menerus selama periode waktu tertentu, serta diikuti dengan proses evolusi geologi. Kekayaan akan sumber daya energi dan mineral di Indonesia tidak lepas dari kondisi geografis serta posisi Indonesia yang terletak di jalur gunung api dunia. Tidak hanya sebagai penunjang kehidupan, energi dan sumber daya mineral juga menjadi salah satu sektor utama dalam pembangunan bangsa.

Kekayaan sumber energi yang ada di seluruh penjuru Nusantara ini menjadi peluang sekaligus tantangan bagi Indonesia untuk menjamin ketersediaan energi serta akses terhadap energi yang dapat dijangkau dan terjangkau oleh semua lapisan masyarakat. Selain kaya kualitas sumber daya alam, mineral Indonesia termasuk yang terbaik di dunia. Karena kekayaan alam sumber daya mineral belum dimanfaatkan secara maksimal cadangan mineral di negeri ini pun berlimpah.

Gambar 20.
Peta sebaran
potensi Sumber
daya Mineral
Indonesia
(Photo credit:
Badan Geologi,
2013)



jenis mineral utama terdapat di Indonesia. Ketiga puluh macam mineral itu di antaranya adalah emas, perak, tembaga, nikel, timah putih, timah hitam, aluminium, besi, mangan, chromit, minyak bumi, gas bumi, batu bara, yodium, berbagai garam, berbagai mineral industri (asbes, bentonit, zeolit, belerang, fosfat, batu gamping), batu mulia, termasuk intan, dan bahan bangunan.

Kekayaan mineral Indonesia yang cukup besar ini, masih belum dapat dikelola sendiri secara maksimal oleh negara ini. Salah satu tambang emas terbesar di dunia, PT. Freeport di Papua, bahkan pengelolaannya masih diserahkan kepada pihak asing. Potensi mineral-mineral ini sangat besar untuk mendatangkan pundi-pundi keuangan negara dan sangat penting untuk menopang pembangunan nasional. Dalam dunia industri, mineral dijadikan sebagai bahan baku yang diolah menjadi barang yang dapat memberikan manfaat yang besar bagi kehidupan manusia. Karena itulah pemerintah mengurangi ekspor mineral mentah mengingat nilainya jauh lebih rendah dari pada mineral dalam bentuk barang yang sudah jadi atau siap pakai.

Kontribusi industri pertambangan untuk ekonomi nasional sangat diperlukan sekarang, lebih dari sebelumnya, untuk membantu mendorong pemulihan ekonomi dari krisis, dan dalam jangka panjang, untuk memainkan peran kunci dalam pembangunan ekonomi nasional yang berkelanjutan. Sementara memenuhi permintaan untuk meningkatkan peran sektor energi dan mineral untuk mendukung ekonomi nasional, pemerintah juga akan tetap berkomitmen untuk melindungi lingkungan melalui pengesahan dan penerapan hukum dan peraturan yang tepat.

Menurut Peraturan Pemerintah nomor 27 tahun 1980 tentang penggolongan bahan-bahan galian atau tambang. Pada pasal (1)e, bahan-bahan galian terdiri atas tiga golongan, yaitu:

- ❖ Bahan galian golongan A, merupakan bahan galian yang mempengaruhi perekonomian negara dan strategis bag pertahanan dan keamanan negara. Golongan bahan galian strategis seperti; bahan galian radio aktif, radium, thorium, uranium, kobalt, timah, nikel, batubara muda, aspal, gas alam, minyak bumi bitumen cair, lilin bumi, bitumen padat, antrasit.
- ❖ Bahan galian golongan B, merupakan bahan galian vital yang dapat menjamin hajat hidup orang banyak. Golongan bahan galian B berupa besi, cerium, rhenium, ytrium, belerang, kristal kwarsa, mangan, molibden, zircon, kriolit, fluospar, barit, yodium, khrom, wolfram, vanadium, air raksa, titan, bauksit, tembaga, timbal, seng, dan logam-logam langka lainnya.
- ❖ Bahan galian golongan C, merupakan bahan galian industri. Bahan galian golongan C mencakup fosfat-fosfat, garam batu, nitrat-nitrat, grafit, asbes, talk, tawas, leusit, magnesit, felspar, batu apung, gips, pasir kwarsa, obsidian, perlit, tanah diatome, kalsit, granit, dolomit, dan pasir sepanjang tidak mengandung unsur mineral golongan A maupun B dalam jumlah yang berarti dari sisi ekonomi pertambangan.
- ❖ Indonesia memiliki kekayaan berupa berbagai macam barang tambang. Barang tambang tersebut dapat berupa barang tambang migas (minyak dan gas) dan barang tambang nonmigas. Saat ini, kita akan fokus membahas persebaran barang tambang nonmigas. Beberapa barang tambang non-migas yang terdapat di wilayah Indonesia, antara lain bijih besi, nikel, timah, tembaga, emas, perak, bauksit, belerang, fosfat, dan marmer.

1. Bijih Besi

Bijih besi merupakan barang tambang yang keberadaannya sering bercampur dengan pasir vulkanik. Bijih besi berwarna hitam mengkilap. Bijih besi banyak digunakan untuk berbagai macam barang-barang dari besi yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, bijih besi juga dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam industri semen. Pertambangan bijih besi di Indonesia terdapat di Gunung Tegak (Lampung), Cilegon (Banten), Pulau Derawan (Kalimantan Timur), Pulau Sebuk (Kalimantan Selatan), dan Pulau Suwang (Kalimantan Selatan). Selain itu, tambang bijih besi juga terdapat di Pegunungan Verbeek (Sulawesi Tengah), Lengkabana (Sulawesi Tengah), Longkana (Sulawesi Tengah), Cilacap (Jawa Tengah), Blitar (Jawa Timur), dan Banyuwangi (Jawa Timur). PT Krakatau Steel di Cilegon (Jawa Barat) melakukan pengolahan terhadap hasil tambang bijih besi. Sementara itu, PN Aneka Tambang di Cilacap (Jawa Tengah) melakukan pengolahan terhadap hasil tambang pasir besi.

b. Timah

Timah dapat dibedakan menjadi timah hitam dan timah putih. Timah hitam adalah logam berwarna hitam yang tahan karat. Timah hitam banyak digunakan untuk membuat peluru. Timah putih adalah logam berwarna putih kemilau yang juga tahan karat. Timah putih banyak digunakan dalam berbagai industri mesin, pembuatan kaleng, sebagai bahan untuk tenol, dan bahan patri. Tambang timah di Indonesia terdapat di Pulau Belitung (Provinsi Bangka Belitung) dan Singkep (Kepulauan Riau). Indonesia merupakan salah satu penghasil timah terbesar di dunia.

c. Tembaga

Tembaga dapat terjadi dalam bentuk logam di alam (yaitu, tembaga asli), dan merupakan salah satu dari tujuh logam yang dikenal di zaman dahulu. Jenis mineral tembaga adalah kalporit, kalkosit, kuprit, dan Malakit. Tembaga adalah logam berwarna kecokelatan yang banyak digunakan untuk pembuatan generator, dinamo, motor listrik, kabel transmisi, instalasi listrik, transistor, serta barang-barang lainnya yang memerlukan sifat konduktivitas listrik (hantaran listrik) dan panas yang tinggi. Indonesia menempati peringkat ke-7 di dunia untuk cadangan tembaga dunia serta menduduki peringkat ke-2 di dunia berdasarkan produksi tembaga dunia. Tambang tembaga di wilayah Indonesia terdapat di Tembagapura (Papua), Kompara (Papua), Sangkarapi (Sulawesi Selatan), dan Tirtamaya (Jawa Tengah). Selain itu, terdapat juga tambang tembaga di daerah Provinsi Jambi dan Sulawesi Tengah.

d. Emas dan Perak

Emas dan perak merupakan barang tambang yang memiliki nilai ekonomi sangat tinggi. Emas dan perak banyak digunakan untuk berbagai macam perhiasan dan barang-barang mewah lainnya. Tambang emas di Indonesia terdapat di Tembagapura (Papua), Bukit Asam (Sumatra Selatan), Bengkalis (Riau), Logas (Riau), Meulaboh (Aceh), dan Rejang Lebong (Bengkulu). Selain itu, tambang emas juga terdapat di Sumbawa Barat (Nusa Tenggara Barat), Bolaang Mongondow (Sulawesi Utara), dan Cikotok (Banten). Pabrik pengolahan emas terdapat di Cikotok (Banten) dan Sumbawa Barat (Nusa Tenggara Barat).

e. Bauksit

Bauksit merupakan bahan baku alumunium. Logam ini ringan dan tidak mudah berkarat. Bauksit diperoleh dalam bentuk lumpur, kemudian diolah untuk menjadi bijih alumunium. Tambang bauksit di Indonesia terdapat di Pulau Bintan (Kepulauan Riau), Singkawang (Kalimantan Barat), dan Bontang (Kalimantan Timur). Pabrik peleburan bauksit menjadi alumunium yang pertama di Indonesia adalah di Asahan (Sumatra Utara).

f. Nikel

Nikel merupakan salah satu jenis unsur kimia yang berbentuk metal dan biasanya ditambang di daerah-daerah tertentu. Nikel memiliki nomor atom 28 yang saat ini dalam tabel periodik unsur dilambangkan dengan Ni. Walaupun merupakan salah satu unsur metal, namun nikel asli yang baru ditambang memiliki sifat lunak dan dapat dibentuk. Biasanya nikel diolah dengan cara dipadukan dan dicampurkan dengan logam lain, seperti besi dan krom.

Nikel berfungsi untuk membuat barang yang dihasilkan menjadi semakin keras dibandingkan sebelum dicampur. Nikel juga dapat membuat logam lain tampak mengkilap dan lebih tahan karat. Manfaat nikel bagi manusia dalam menunjang kehidupan sehari-harinya sangat banyak. Nikel sendiri merupakan elemen yang membentuk inti bumi. Diketahui sebanyak 10 persen inti bumi terbentuk dari nikel. Biasanya nikel yang ditambang berasal dari larutan nikel yang berada di laut, dengan kisaran jumlah sekitar 8 juta ton. Penambangan nikel terbesar dilaksanakan PT Aneka Tambang yang melakukan kegiatan penambangan di Pomala dan Pulau Gede, PT INCO di Soroako Sulawesi Selatan, PT GAG Nikel di Sorong Papua Barat.

g. Belerang

Belerang merupakan mineral vulkanis yang banyak terdapat di kawah gunung api. Belerang banyak digunakan dalam berbagai industri kimia, bahan peledak, obat-obatan, dan korek api. Tambang belerang di Indonesia terdapat di Gunung Welirang (Jawa Timur) dan Gunung Patuha (Jawa Barat). Selain itu, tambang belerang terdapat juga di Jambi, Jawa Tengah, dan Sulawesi Utara.

h. Asbes

Di Indonesia, tambang asbes terdapat di daerah Klamano (Papua), Pulau Seram (Maluku), Pulau Halmahera (Maluku), dan Kuningan (Jawa Barat).

i. Fosfat

Fosfat merupakan persenyawaan antara fosfor di dalam kotoran kelelawar dan batu kapur di dasar gua tempat kelelawar hidup. Fosfat dapat dimanfaatkan untuk berbagai industri pupuk. Tambang fosfat di Indonesia terdapat di Purwokerto, Rembang, Gombang, dan Jepara (Jawa Tengah), Bogor dan Pangandaran (Jawa Barat), serta Bojonegoro (Jawa Timur).

j. Aspal

Tambang aspal yang paling besar di Indonesia terdapat di Pulau Buton (Sulawesi Tenggara). Selain itu, aspal juga dihasilkan di Wonokromo (Jawa Timur) sebagai hasil dari pengolahan minyak bumi.

k. Marmer

Kata Marmer berasal dari kata Yunani Marmaros yang berarti batu bersinar. Marmer adalah batu metamorfik granular non-foliated, yang dibentuk oleh Metamorfosa dari batu kapur dan Dolostone. Kandungan kimiawi marmer adalah kalsium Karbonat (CaCO_3). Istilah marmer juga diterapkan pada batuan serpentine yang bisa dipoles hingga berkilau tinggi. Marmer atau batu pualam merupakan jenis batuan metamorf. Marmer dapat dijumpai di daerah karst. Marmer banyak digunakan untuk berbagai barang ornamen bangunan (misalnya lantai keramik), berbagai perabot rumah tangga, dan berbagai hiasan lainnya. Tambang marmer di Indonesia terdapat di Tulungagung (Jawa Timur), Gunung Kidul (DIY), Bukit Asam (Sumatra Selatan), dan Klamano (Papua).

l. Intan

Intan terbentuk bersamaan dengan pembekuan batuan ultra basa misal peridotit dan kimberlit. Kristalisasi Intan pada kimberlite pipa terbentuk pada kedalaman 60 mil lebih dalam dibawah permukaan bumi dan temperatur 1.500-2.000°C. Intan mempunyai hablur berwarna bening tetapi kadang-kadang berwarna kebiruan, kehijauan, kemerahan atau kuning. Tambang intan di Indonesia terdapat di Martapura (Kalimantan Selatan). Selain itu, tambang intan juga terdapat di Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah.

m. Mangan

Tambang mangan di Indonesia terdapat di Kliripan (DIY) dan Tasikmalaya (Jawa Barat). Tambang mangan lainnya juga terdapat di Provinsi Lampung, Maluku, NTB, dan Sulawesi Utara.

n. Semen

Tambang semen di Indonesia terdapat di Indarung (Sumatra Barat), Sukabumi (Jawa Barat), Gresik (Jawa Timur), Laah Kulu (Kalimantan Timur), dan Tonasa (Sulawesi Selatan).

o. Batubara

Selain minyak dan gas, Indonesia juga memiliki sumber daya geoenergi lainnya, terutama batubara dan panas bumi. Sumber daya batubara juga relatif kecil jika dibandingkan dengan cadangan global dan kebanyakan termasuk dalam kategori peringkat rendah. Namun demikian, dengan total sumber daya sekitar 39 miliar ton, itu akan sangat signifikan untuk pasokan energi nasional selama beberapa ratus tahun mendatang. Hingga saat ini sumber daya batubara berkualitas lebih tinggi telah berhasil dikembangkan untuk industri ekspor baru yang signifikan bagi Indonesia dan telah menghasilkan devisa berharga bagi negara. Wilayah penambangan batubara di Indonesia banyak tersebar di Sumatra Barat,



Gambar 21. Peta sebaran potensi sumber daya batubara di Indonesia (Photo credit: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/mengungkap-potensi-batubara-metalurgi-batubara-dengan-harga-jual-tinggi>)

Riau, Sumatra Selatan, Bengkulu, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur (Gambar 21).

Berbagai macam barang tambang, baik tambang nonmigas maupun tambang migas harus diproses terlebih dahulu sebelum dapat digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia. Akan lebih bijaksana apabila pemanfaatan berbagai macam barang tambang juga disertai dengan upaya pelestarian alam agar kelestarian alam dan keberlangsungan hidup manusia dapat terus terjaga.

2.2.2 Sumber Daya Minyak dan Gas

Minyak bumi (petroleum) atau dikenal juga sebagai emas hitam merupakan cairan kental, cokelat gelap, atau kehijauan yang mudah terbakar yang terdapat pada lapisan teratas dari beberapa area di kerak bumi. Minyak bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang tak terbarukan karena proses pembentukannya memerlukan waktu yang lama. Di alam, minyak adalah cairan yang mengisi ruang kosong, celah-celah, dan gua-gua dalam batuan, membentuk deposit pada lipatan di batas lempeng dan kaki bukit. Minyak juga dapat ditemukan di pori-pori atau pada butiran batu. Minyak semacam itu dapat membentuk batu pasir jenuh minyak dan batu kapur, atau lapisan kerak plastik dan keras, yang paling sering disebut aspal alam atau serpih minyak. Cairan minyak bumi biasanya terkubur hingga kedalaman 0,3-5 km, ketika lebih dalam itu dapat ditemukan hanya sebagai campuran dalam deposit gas alam (Pradana & Sutedjo, 2018).

Seperti halnya hutan, tidak semua negara memiliki minyak bumi. Kita patut bersyukur, Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki minyak bumi. Namun potensi minyak bumi Indonesia terus mengalami penurunan karena pemanfaatannya yang terus-menerus. Bahkan, saat ini Indonesia telah

mulai mengimpor minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang tak lagi mencukupi. Minyak bumi dimanfaatkan sebagai sumber energi kendaraan bermotor, mesin pabrik, dan lain-lain. Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagian menggunakan minyak bumi untuk menghasilkan listrik. Berbagai penggunaan minyak sebagai sumber energi berdasarkan laporan *World Energy Council* adalah sebesar 40-45 persen digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Selain bensin, minyak jenis solar dimanfaatkan untuk mesin diesel, minyak tanah sebagai bahan bakar lampu minyak, *Liquid Natural Gas* (LNG) digunakan menghidupkan kompor gas, paraffin sebagai material pembuat lilin, aspal curah sebagai dasar bahan jalan raya, avtur digunakan energi pesawat terbang, oli dijadikan pelumas mesin dan vaselin merupakan bahan obat salep.

Cadangan minyak bumi nasional per 1 Januari 2010, baik berupa cadangan terbukti maupun cadangan potensial mengalami penurunan 1,2 persen jika dibandingkan tahun sebelumnya. Cadangan potensial minyak pada tahun 2010 sebanyak 3,66 miliar barel, sedangkan cadangan terbukti sebanyak 3,74 miliar barel. Sebaran cadangan minyak bumi sebagai besar terdapat di wilayah Sumatra sebesar 66,15 persen dari total cadangan minyak bumi nasional atau sebanyak 4,83 miliar barel. Sedangkan Jawa dan Kalimantan masing-masing memiliki cadangan minyak bumi 1,57 miliar barel dan 0,59 miliar barel. Sisanya 0,15 miliar barel terdapat di daerah Papua, Maluku dan Sulawesi (Gambar 22).

Gas bumi merupakan energi primer ketiga yang paling banyak digunakan di dalam negeri setelah minyak bumi dan batubara. Untuk itu gas bumi memegang peranan penting dalam kebijakan bauran energi (*energy mix policy*) di Indonesia. Pemerintah secara agresif terus mendorong pemanfaatan gas bumi domestik, di antaranya melalui pembangunan Infrastruktur gas bumi (pipa dan LPG/CNG/LNG) untuk menstimulasi industri dalam negeri dan menjaga lingkungan hidup yang lebih bersih. Industri gas bumi dimulai

Gambar 22.
Sumber Daya
Minyak Bumi
2015
(Photo credit:
Ditjen Migas).



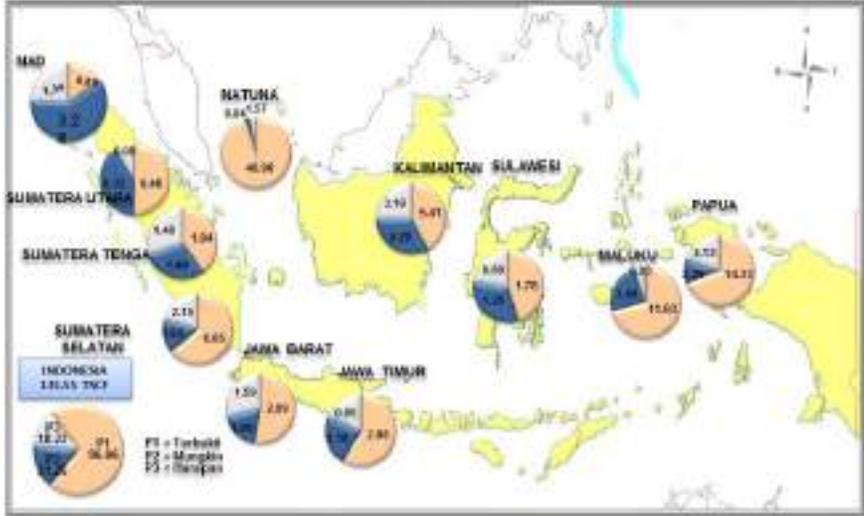
pada awal tahun 1960-an dengan penyaluran gas bumi melalui pipa dari lapangan gas bumi PT Stanvac Indonesia di Pendopo, Sumatra Selatan ke Pabrik Pupuk Sriwidjaja, Pusri-1A di Palembang. Pada tahun 1974 Pertamina mulai memasok gas bumi dari lapangan Prabumulih, Sumatra Selatan ke Pusri II, Pusri III dan Pusri IV. Pada tahun 1974 Pertamina juga mulai memasok gas bumi dari lapangan di daerah Cirebon dan dari lepas pantai (*offshore*) Laut Jawa untuk pabrik pupuk, semen, keramik dan baja serta beberapa pembangkit listrik di Jawa Barat dan Cilegon, Banten.

Pada tahun 1977 Indonesia mulai mengekspor gas bumi (LNG) dari kilang Bontang dan disusul pada tahun 1978 dari kilang Arun, sehingga selama beberapa tahun kemudian Indonesia sempat menjadi negara pengekspor LNG terbesar di dunia. Saat ini Indonesia masih menjadi negara pengekspor gas bumi dalam bentuk LNG dan gas pipa, namun pasokan gas bumi untuk ekspor menurun seiring dengan meningkatnya kebutuhan domestik dari tahun ke tahun. Pemanfaatan gas bumi domestik naik rata-rata 7,8 persen sejak tahun 2003 sampai dengan tahun 2017. Untuk tahun 2017, gas bumi yang diekspor sebesar 41,41 persen dari *lifting* gas bumi nasional dan tahun depan penyerapan gas bumi untuk domestik diharapkan dapat meningkat.

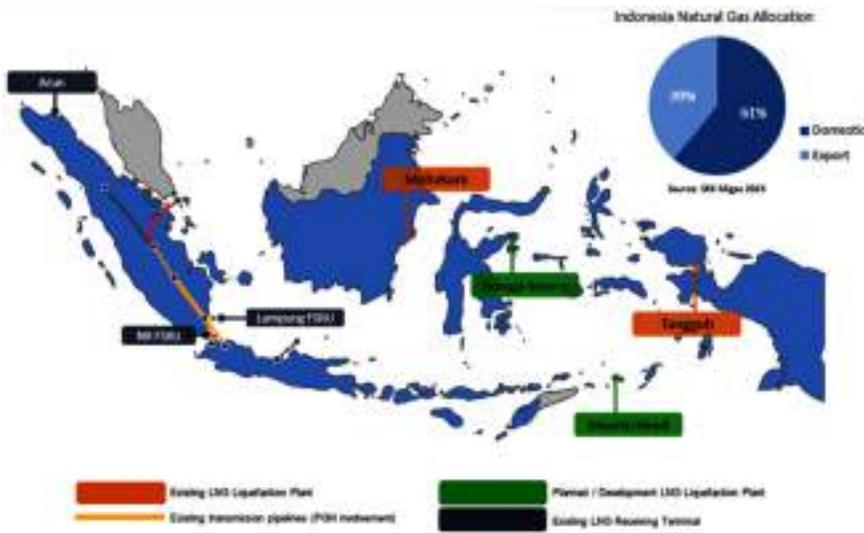
Sejalan dengan kebijakan ekonomi, paradigma pemanfaatan gas bumi pada masa pemerintahan Presiden Joko Widodo meneruskan dan menyesuaikan dari pemerintahan sebelumnya, yaitu dari sumber pendapatan negara menjadi penggerak pertumbuhan ekonomi nasional melalui gas bumi sebagai sumber energi (kelistrikan) dan gas bumi sebagai bahan baku (pupuk, petrokimia, baja dan industri lainnya). Cadangan gas bumi Indonesia per 1 Januari 2018 sebanyak 135,55 TSCF (Gambar 23). Jika tidak ada penemuan cadangan yang baru, dengan tingkat pemakaian gas bumi atau pemanfaatan gassaat ini dan menimbang produksi gas rata-rata dari tahun 2012-2017 sebesar 2.9 TSCF/tahun, gas bumi Indonesia diperkirakan akan habis 49 tahun mendatang. Tahun 2015 sampai dengan saat ini, industri hulu migas telah mengalami reformasi era dari minyak bumi ke gas bumi. Pengembangan penemuan migas didominasi oleh temuan lapangan-lapangan gas bumi, terutama di kawasan Indonesia Bagian Timur. Tantangan dan kendala yang dihadapi saat ini adalah temuan-temuan tersebut terletak di beberapa lapangan yang marjinal dan laut dalam. Selain itu, mayoritas pengguna gas bumi berada di kawasan Indonesia Bagian Barat dan menimbang kondisi geografi Indonesia yang berbentuk kepulauan mengakibatkan biaya dan metode distribusi gas bumi sebagai tantangan tersendiri yang harus dihadapi.

Indonesia memiliki cadangan gas alam yang besar. Saat ini, negara Indonesia memiliki cadangan gas terbesar ketiga di wilayah Asia Pasifik (setelah Australia dan Republik Rakyat Tiongkok), berkontribusi untuk 1,5% dari total cadangan gas dunia (*BP Statistical Review of World Energy*, 2015). Kebanyakan pusat-pusat produksi gas Indonesia berlokasi di lepas pantai, di antaranya adalah (Gambar 24).

Gambar 23. Cadangan sumber daya gas bumi Indonesia. (Photo credit: <http://statistik.migas.esdm.go.id/index.hp?r=petaCadanganGasBumi/index>)



Gambar 24. Peta Transmisi Perusahaan Gas Negara Tbk dan Infrastruktur LNG (Photo credit: PGAS)



Indonesia memproduksi sekitar dua kali lipat dari gas alam yang dikonsumsi. Kendati begitu, tidak berarti bahwa produksi gas domestik memenuhi permintaan gas domestik. Bahkan, ada kekurangan gas untuk industri-industri domestik di Indonesia. Perusahaan Gas Negara (PGN) belum mampu memenuhi permintaan domestik. Ini memiliki dampak-dampak yang memiliki cakupan luas karena hal ini menyebabkan Perusahaan Listrik Negara (PLN), konsumen gas domestik terbesar, mengalami kekurangan struktural suplai gas dan memaksa PLN untuk beralih ke bahan-bakar fosil yang lain, seperti minyak bumi, untuk menghasilkan listrik. Meskipun begitu, pemadaman listrik sering terjadi di seluruh negeri (terutama di luar kota-kota besar Pulau Jawa), dan karenanya membebani

industri-industri negara ini. Terlebih lagi, hampir 80 juta penduduk Indonesia belum memiliki akses listrik seperti yang ditunjukkan oleh persentase kelistrikan Indonesia yang relatif rendah pada 84,1 persen di 2014.

Pemerintah Indonesia bertujuan untuk membatasi ekspor gas negara dalam rangka mengamankan suplai domestik sambil mendorong penggunaan gas alam sebagai sumber bahan bakar untuk konsumsi industri dan personal. Sebagian besar hasil produksi gas diekspor karena produksi gas negara ini didominasi oleh perusahaan-perusahaan asing yang hanya bersedia untuk berinvestasi bila diizinkan mengekspor komoditi ini. Saat ini, perusahaan-perusahaan asing, seperti CNOOC Limited, Total E&P Indonesia, Conoco Philips, BP Tangguh, dan Exxon Mobil Oil Indonesia, berkontribusi untuk sekitar 87 persen dari produksi gas alam Indonesia. Sisa 13 persen diproduksi oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN) Pertamina. Sekitar setengah dari total hasil produksi gas dijual secara domestik.

2.2.3 Sumber Daya Air Tawar di Pulau-Pulau Kecil

Kawasan pesisir sejak zaman dahulu sampai saat ini masih merupakan daerah yang selalu berkembang dengan daerah pedalaman (*hinterland*). Akibat sangat pesatnya perkembangan pembangunan di sekitar pantai tersebut maka wilayah pesisir kerap dianggap sebagai daerah yang paling tradisional dengan penggunaan lahan untuk pertanian, perikanan, dan kehutanan, sampai yang paling kontemporer seperti kawasan pemukiman (*real estate*), kawasan industri (*industrial estate*) dan kawasan wisata bahari (*tourist resorts*).

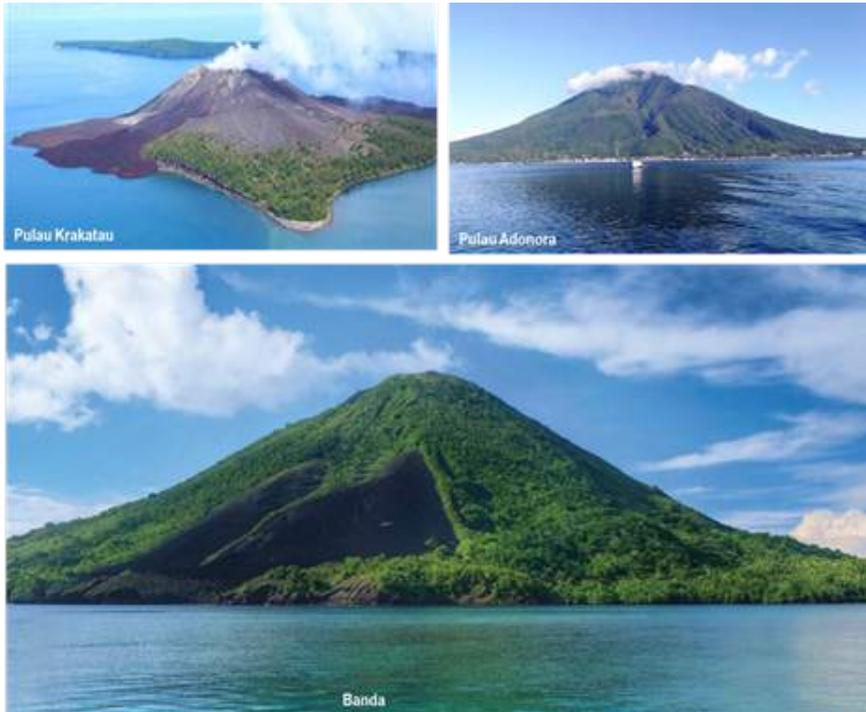
Keadaan fisik wilayah pesisir Indonesia amat beragam dilihat dari kondisi morfologi, kimia maupun biologi. Adanya keragaman ini berkaitan erat dengan proses mula jadi daratan pesisir yang berlainan dari satu tempat ke tempat lainnya. Dari sisi tata air, wilayah pesisir di Indonesia dapat dibedakan menjadi dua tipe ekosistem, yaitu pesisir yang terendam air baik secara berkala maupun permanen dan pesisir yang tidak terendam air. Pesisir yang terendam air dapat dibedakan lagi menjadi hutan payau, vegetasi rawa payau (*salt marsh*), hutan rawa air tawar (rapak), dan hutan rawa gambut. Adapun pesisir yang tidak terendam air kecuali pada daerah *shore zone* adalah berupa pantai pesisir dangkal dan pantai batu. Ekosistem pantai pasir dangkal di Indonesia umumnya terdapat pada daerah pantai terbuka yang jauh dari pengaruh sungai besar. Sedangkan pantai batu umumnya terbentuk dari batuan keras, biasanya batuan beku atau malihan yang berserakan terhampar pada tempat ombak memecah (*break zone*).

Beberapa dekade terakhir peran strategis pulau kecil telah semakin menonjol. Selain beberapa kelebihan strategis kebanyakan pulau kecil mempunyai keterbatasan dalam potensi sumber daya air. Fakta di alam, ada pulau yang luasnya kecil, tetapi mempunyai sistem yang mirip pulau besar. Ada pulau-pulau yang luasnya relatif besar tetapi sistem hidrogeologinya lebih dekat pada sistem pulau kecil. Klasifikasi pulau kecil dapat disusun

berdasarkan berbagai macam kriteria antara lain genesa pulau, bentuk pulau, litologi pembentukan pulau, atau umur dan tipe dasar. Hehanussa (1992) membuat klasifikasi pulau kecil di Indonesia berdasarkan morfologi dan genesa pulau menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

- ❖ **Pulau Berbukit**, terdiri dari pulau yang memperlihatkan morfologi dengan lereng umumnya lebih besar dari 10° dan dengan elevasi lebih besar dari 100 m di atas permukaan laut. Pulau berbukit ini bisa dibagi ke dalam beberapa kelas yaitu:
 1. Pulau Vulkanik, adalah pulau yang terbentuk oleh bahan piroklastik, lava maupun ignimbrite hasil kegiatan gunung api. Beberapa contoh adalah Pulau Krakatau, Banda, Gunung Api dan Adonora (Gambar 25).
 2. Pulau Tektonik, adalah pulau yang genesanya berkaitan dengan proses tektonik terutama zona tumbukan antar lempeng. Beberapa contoh dari pulau tektonik adalah Pulau Nias, Siberut, dan Enggano.
 3. Pulau Teras Terangkat, adalah pulau yang pembentukannya sama dengan pulau tektonik, namun pada saat peningkatan disertai pembentukan undak atau teras. Pulau seperti ini banyak terbentuk di Indonesia bagian Timur. Contoh dari pulau jenis ini adalah Pulau Ambon dan Biak.

Gambar 25.
Pulau Vulkanik di
Indonesia (Photo
credit: Bakti, 2007)



4. Pulau Petabah (*monadnock*), adalah pulau yang terbentuk di daerah yang secara tektonik cukup stabil, antara lain dijumpai di Paparan Sunda. Litologi pembentuk pulau ini sering terdiri dari batuan ubahan (*metamorf*), intrusi dan sedimen yang terlipat dan berumur tua. Pulau Batam, Bintan dan Belitung adalah contoh dari pulau petabah.
5. Pulau Gabungan, adalah pulau yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih dari jenis pulau di atas. Contoh pulau gabungan antara lain adalah Pulau Haruku, Nusa Laut, Kisar, dan Rote.

❖ **Pulau Datar** yang secara topografi tidak memperlihatkan tonjolan morfologi yang berarti. Pulau jenis ini umumnya mempunyai batuan yang secara geologi berumur muda, terdiri dari endapan klastik jenis *fluviatile* (endapan sungai) dengan dasar yang terdiri dari perlapisan endapan laut dangkal atau pecahan koral. Pulau datar ini dibagi ke dalam beberapa kelas, yaitu:

1. Pulau Aluvium, pulau jenis ini biasanya terbentuk di depan muaramuara sungai besar, yang laju pengendapan lebih tinggi dibandingkan intensitas erosi oleh arus dan gelombang laut. Beberapa contoh pulau jenis ini terdapat di Pantai Timur Sumatra dan Delta Mahakam di Kalimantan.
2. Pulau Koral, adalah pulau yang terbentuk oleh sedimen bioklastik berumur kuartar. Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak di daerah tropis banyak mempunyai ekosistem terumbu karang. Pulau-pulau koral banyak terdapat antara lain di Kepulauan Seribu, Jakarta.
3. Pulau Atol, adalah pulau yang biasanya mempunyai luas daratan jarang lebih dari 50 km². Contohnya adalah pulau-pulau di Kepulauan Takabonerate, Sulawesi Selatan.

Sumber daya air di wilayah pesisir terdiri dari 3 jenis sumber daya air, yaitu air atmosferik (hujan), air permukaan, dan air tanah. Jumlah sumber daya air yang berasal dari air hujan akan sangat tergantung pada musim yang sedang berlangsung. Pada musim hujan air tersedia dalam jumlah yang banyak, sementara pada musim kemarau terjadi kondisi sebaliknya. Sumber daya air permukaan terdiri dari air sungai, saluran irigasi, danau alam, danau buatan (waduk) dan genangan air rawa. Namun yang paling banyak dan biasanya digunakan untuk pemenuhan kebutuhan air di wilayah pesisir adalah air sungai dan saluran irigasi karena kualitas dan kuantitasnya relatif lebih baik dan terjamin.

Air tanah di wilayah pesisir Indonesia umumnya tersedia dalam jumlah banyak dan melimpah, yang keberadaannya dan cara pengambilannya sangat bergantung pada kondisi geologi daerah setempat. Istilah air tanah berkaitan

erat dengan tempat air tersebut tersimpan. Disebut sebagai air tanah dangkal bila kedalamannya kurang dari 60 m dan disebut sebagai air tanah dalam bila tersimpan pada kedalaman lebih dari 60 m. Pengambilan air tanah dangkal biasanya dilakukan dengan cara membuat sumur gali, yang pada prinsipnya merupakan penorehan lapisan bawah permukaan hingga mencapai kedalaman muka air tanah dangkal yang tersedia. Air tanah dalam biasanya diambil dengan cara pembuatan sumur bor berdiameter kecil sampai akuifer di kedalaman tertentu dan kemudian dipompa.

Akuifer yang terdapat di wilayah pesisir sangat berkaitan dengan bentuk lahan serta mula jadi lingkungan pengendapannya sehingga akan berbeda di tiap-tiap wilayah pesisir. Secara genetik akuifer batuan sedimen bisa dibentuk di lingkungan fluvial, fluvio-marin, fluvio-vulkanik atau lingkungan laut dangkal. Di Indonesia yang mempunyai rangkaian pegunungan di kawasan hulunya (*hinterland*), maka akuifer yang baik didominasi oleh tipe endapan fluvial dan fluvio-vulkanik. Sementara di daerah dataran rendah yang luas, akuifer di dominasi oleh tipe *fluvial* dan fluvio-marin. Potensi air tawar di suatu pulau kecil merupakan besaran yang dinamis, berubah-ubah dalam dimensi ruang dan waktu. Dua faktor dominan yang mempengaruhi potensi air di pulau kecil adalah faktor iklim dan kondisi geologi pulau (Hehanusa, 1987).

Beberapa ciri khas sistem hidrogeologi pulau kecil adalah:

- a. Air tanah seluruhnya berasal dari air hujan dengan siklus antara resapan air ke dalam tanah dan pemanfaatannya relatif pendek
- b. Air tanah di pulau kecil kebanyakan berupa lensa yang mengapung di atas air payau atau air asin.
- c. Terjadinya limpasan permukaan (*run-off*) pada waktu hujan kecil, namun air yang meresap ke dalam tanah sebagian besar berdifusi dengan air laut di bawah.

Di samping ukuran, kemampuan suatu pulau untuk menyimpan air tanah ditentukan oleh data hidrogeologi di pulau itu. Tiap jenis pulau seperti yang sudah diuraikan di atas mempunyai ciri tersendiri, baik penyebarannya maupun potensi airnya. Penyebaran dan potensi air tanah baik di pulau berbukit maupun di pulau datar secara kualitatif sebagai berikut:

- a. Pada jenis pulau vulkanik, potensi air tanah dapat ditemukan pada breksi dengan matriks kasar, pada aliran lava atau pada daerah rekahan (*joint/crack system*). Penyebaran air tanah ini bisa luas dengan potensi yang relatif sedang hingga besar.
- b. Pulau Tektonik mempunyai penyebaran air tanah yang bersifat setempat, yaitu pada daerah rekahan, atau pada endapan klastik dan bersifat musiman.
- c. Pulau Teras Terangkat mempunyai potensi air tanah yang cukup besar karena hampir sebagian besar air hujan meresap ke dalam tanah.

Penyebaran air berada dalam gamping, namun untuk mencari lokasi yang paling potensial cukup sulit karena adanya pengaruh tektonik dan “*solution channel*” yang ikut mengontrol penyebaran air tanah.

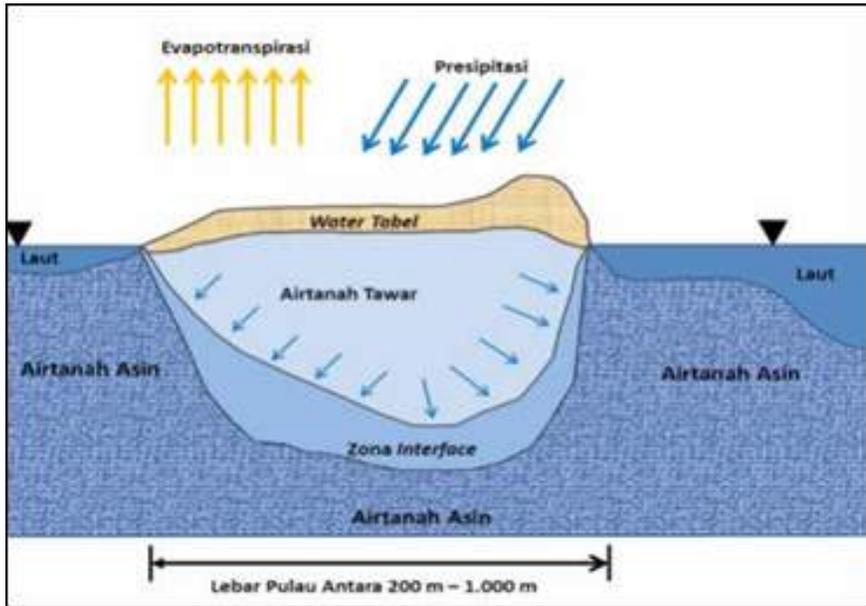
- d. Air tanah di Pulau Petabah mungkin yang relatif paling sedikit mengingat pulau ini terbentuk oleh batuan malihan, intrusi atau sedimen terlipat berumur tua. Air tanah terdapat pada sedimen muda, lapisan lapuk atau rekahan dengan penyebaran terbatas dan bersifat musiman.
- e. Penyebaran dan potensi air tanah di Pulau Gabungan sangat tergantung pada jenis-jenis pulau yang setiap jenis pulau di atas masih merupakan masalah tersendiri.

Eksplorasi air tanah untuk pulau datar, relatif lebih sederhana dibandingkan dengan pulau berbukit. Di pulau aluvium, air tanah dapat ditemukan pada *reservoir* (batuan penyimpan air) yang berbeda, bisa di pasir alur sungai purba atau di pasir pematang pantai. Potensinya bisa bervariasi dari kecil sampai sedang, namun perubahan pasang surut muka air laut cukup besar pengaruhnya terhadap kualitas air tanah. Gambaran mengenai penyebaran dan potensi air tanah di Pulau Koral mungkin yang paling sederhana bila dibandingkan dengan jenis pulau-pulau yang telah diuraikan di atas. Beberapa karakteristik penyebaran air tanah di Pulau Koral adalah sebagai berikut (Gambar 26):

- a. Air tanah berbentuk lensa yang mengapung di atas air payau dan air laut.
- b. Bila kondisi geologi dan laut di sekitar pulau sama, bentuk lensa air tanah simetri dan mengikuti bentuk pulau di mana bagian paling tebal berada di tengah pulau
- c. Bila kondisi geologi dan laut di sekitar pulau tidak sama, bentuk lensa akan menebal ke arah di mana koefisien permeabilitas (*hydraulic conductivity*) batuan atau tekanan arus lebih kecil.

Keberadaan sumber daya air tidak merata di seluruh dunia. Semakin banyak penduduk dunia tinggal di daerah yang langka air dan kering secara alami, semakin banyak populasi manusia dituntut untuk mengurangi kebutuhan air per kapita (berhemat air). Seiring meningkatnya populasi manusia, kebutuhan sumber daya air untuk berbagi keperluan seperti keperluan rumah tangga, industri maupun energi juga semakin naik. Laporan *World Energy Council* (2013) mengungkapkan, sekitar sepertiga dari penduduk dunia tidak memiliki akses terhadap layanan sanitasi yang lebih baik dan tidak memiliki persediaan air minum yang memadai. Air juga digunakan untuk pengairan, bahan dasar industri minuman, penambangan, dan aset rekreasi. Pada bidang energi sumber daya air dapat dijadikan sebagai energi pembangkit listrik.

Gambar 26.
Penyebaran air
tanah tawar
di Pulau Koral
(Photo credit:
Falkland, 1995)



Saat ini energi dunia sangat bersumber dari pembakaran fosil sebagai bahan bakar. Aktivitas ini terus memicu tingkat gas rumah kaca yang berbahaya. Sementara generator listrik termal, termasuk bahan bakar fosil dan pembangkit listrik tenaga nuklir membutuhkan air dalam jumlah besar untuk menghasilkan uap dan untuk menggerakkan turbin. Untuk mengurangi perubahan iklim dan meningkatkan kemandirian energi, perlu perhatian besar pada sumber energi yang rendah karbon dan terbarukan. Banyak generator energi terbarukan, salah satunya yang paling potensial adalah memanfaatkan sumber daya air dalam jumlah besar.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil menyebutkan bahwa wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil merupakan bagian dari sumber daya alam yang perlu dijaga kelestariannya dan dimanfaatkan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat, baik bagi generasi sekarang maupun bagi generasi yang akan datang. Selain itu, undang-undang ini juga menyebutkan bahwa wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil memiliki keragaman potensi sumber daya alam yang tinggi, dan sangat penting bagi pengembangan sosial, ekonomi, budaya, lingkungan, dan penyangga kedaulatan bangsa. Oleh karena itu, undang-undang ini mengamanatkan untuk mengelola wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil secara berkelanjutan dan berwawasan global, dengan memperhatikan aspirasi dan partisipasi masyarakat, dan tata nilai bangsa yang berdasarkan norma hukum nasional (Christanto, 2010).

Pengembangan dan pembangunan pulau kecil dan sangat kecil seringkali terkendala ketersediaan sumber daya air yang sedikit (Arsadi *et al.*, 2005). Hal

ini disebabkan oleh karena tangkapan curah hujan yang terbatas pada luas pulau yang sempit, serta jumlah simpanan dalam bentuk lensa air tanah yang sedikit pula (Arenas dan Huertas, 1986; Falkland, 1991; 1992; 1993; Delinom dan Lubis, 2005). Selain itu, pulau kecil dan sangat kecil memiliki potensi kerusakan sumber daya airtanah akibat intrusi air laut (Falkland, 1991; 1992; 1993;) serta pengaruh dampak perubahan iklim (FAO, 2008). Oleh karena itu, maka pengembangan dan pembangunan pulau-pulau kecil dan sangat kecil harus dilakukan dengan memperhatikan aspek permasalahan dan potensi sumber daya air yang ada pada setiap pulau.

Menyelamatkan Masa Depan Pulau Kecil Indonesia

Pembangunan di suatu wilayah memang harus terus dilakukan, namun demikian tentunya pembangunan yang dilakukan harus mempertimbangkan kondisi lingkungan sehingga tercapai pembangunan yang berkelanjutan. Terkait dengan konservasi sumber daya air, maka beberapa hal berikut dapat dilakukan:

1. Pemanenan Hujan

Pemanenan air hujan dapat diartikan sebagai pemanenan air hujan dengan mengumpulkan air dari atap ke dalam sebuah tampungan untuk kemudian digunakan secara langsung dan dapat pula diartikan sebagai upaya memperbanyak jumlah air hujan yang meresap ke dalam sistem air tanah. Hal ini penting dilakukan untuk menjaga kuantitas air tanah. Pemanenan air hujan untuk meningkatkan resapan air hujan dapat dilakukan dengan membuat sumur resapan, pembuatan parit yang memungkinkan air dapat meresap serta pembuatan jalan yang masih memungkinkan air hujan masih dapat meresap. Kendala penerapannya di lapangan adalah bahwa kesadaran masyarakat seringkali sangat kurang. Selain itu hasil wawancara di lapangan menunjukkan bahwa pemanenan air hujan melalui atap rumah dahulu pernah dilakukan, namun sekarang tidak lagi dilakukan. Kondisi ini diakibatkan oleh karena anggapan masyarakat tentang mudahnya mendapatkan air dari teknologi *reverse osmosis* (penyaringan atau pemurnian air) dan impor galon air minum dari Jakarta. Hal ini tentunya bukan merupakan solusi, mengingat ketergantungan yang berlebihan menyebabkan kerusakan sumber daya air di Pulau Pramuka akan semakin parah. Selain itu, ketahanan air di Pulau Pramuka.

2. Pembuatan instalasi air bersih

Pembuatan instalasi air bersih dengan membuat sistem desalinasi air laut. Teknologi ini lebih tepat dibandingkan dengan *reverse osmosis* mengingat dengan teknologi ini air tanah yang ada di pulau masih memungkinkan untuk lestari. Hasil dari teknologi ini dapat sangat

banyak, berbeda dengan *reverse osmosis* yang hanya efektif untuk jumlah yang sedikit, dan apabila telah menyebabkan intrusi air laut di daratan maka untuk mengembalikan kualitasnya akan sangat sulit dan membutuhkan waktu yang lama.

3. Pembuatan instalasi pengolahan limbah dan sampah

Pembuatan instalasi ini sangat penting mengingat pulau kecil seperti Pulau Pramuka memiliki kerentanan airtanah terhadap pencemaran sangat tinggi (Cahyadi, 2012). Banyaknya limbah dan sampah tentunya akan menyebabkan rusaknya kualitas airtanah di pulau kecil yang jumlahnya sangat terbatas. Pembuatan instalasi pengolahan limbah dan sampah hendaknya melibatkan masyarakat. Kasus di Pulau Pramuka, instalasi pengolahan sampah tidak dapat berlanjut karena tidak melibatkan masyarakat secara langsung.

4. Pembuatan aturan penggunaan air tanah di kawasan pulau kecil

Jumlah airtanah yang sangat terbatas di pulau kecil hendaknya disikapi dengan penggunaan yang tidak berlebihan dan mengutamakan penduduk lokal. Perkembangan resort-resort wisata hendaknya ditanggulangi dengan menerapkan aturan terkait dengan jumlah airtanah yang boleh digunakan atau bahkan mungkin mewajibkan penyedia jasa wisata untuk membuat instalasi pengolahan air bersih. Pembuatan instalasi ini dapat dilakukan pemerintah dengan pihak pengelola wisata serta melibatkan masyarakat.

2.2.4 Sumber daya Bahan Galian C (Pasir, Batu)

Indonesia merupakan Negara yang kaya akan sumber daya alam seperti bahan galian, mineral, minyak bumi, gas alam, flora dan fauna baik yang berada di tanah, air maupun udara yang merupakan salah satu modal dasar dalam pembangunan nasional. Pembangunan berwawasan lingkungan menjadi suatu kebutuhan penting bagi setiap bangsa dan negara yang menginginkan kelestarian sumber daya alam. Sumber daya alam perlu dijaga dan dipertahankan untuk kelangsungan hidup manusia kini, maupun untuk generasi yang akan datang (Arif, 2007).

Menurut UU No.11 Tahun 1967, bahan tambang tergolong menjadi 3 jenis, yakni Golongan A (yang disebut sebagai bahan strategis), Golongan B (bahan vital), dan Golongan C (bahan tidak strategis dan tidak vital). Penggunaan kata bahan galian golongan C yang sebelumnya telah diatur dalam UU No 11 Tahun 1967 silam tersebut telah diubah berdasarkan UU No. 4 Tahun 2009, menjadi 'batuan', sehingga penggunaan istilah bahan galian golongan C sebetulnya tidak relevan lagi karena sudah secara khusus disebut "batuan", namun masyarakat sudah terlanjur akrab dengan sebutan "Galian C".

Segala bentuk aktivitas pertambangan merupakan salah satu aktivitas manusia dalam mengeksploitasi sumber daya alam yang ada di bumi. Tentu saja aktivitas tersebut tidak akan terlepas dari akan adanya dampak negatif yang ditimbulkan. Pasir merupakan salah satu bahan atau material tambang yang berperan penting dalam kegiatan pembangunan infrastruktur berupa pembangunan jalan, bangunan hingga perumahan. Pertambangan bukan selalu dikuasai oleh suatu perusahaan milik pemerintah maupun swasta, tetapi juga dilakukan oleh rakyat yang mandiri dan tidak terikat dengan perusahaan manapun. Pertambangan yang dilakukan oleh masyarakat tersebut tidak lain bertujuan untuk mencari penghasilan dengan memanfaatkan adanya sumber daya alam di sekitar lingkungan di mana mereka tinggal.

Sesuai dengan peraturan pemerintah nomor 27 tahun 1980, bahan galian dan mineral dibagi dalam 3 golongan, yaitu:

1. Bahan tambang galian golongan A (bahan galian strategis)

Bahan tambang galian golongan A, adalah bahan tambang galian berupa minyak bumi, bitumen cair, lilin bumi, gas alam, bitumen padat, aspal, antrasit, batu bara, uranium, radium, thorium, dan bahan-bahan galian radioaktif lainnya.

2. Bahan tambang galian golongan B

Merupakan bahan tambang berupa besi, mangan, molboden, khrom, wolfram, vanadium, titan, dan bahan galian vital lainnya.

3. Bahan tambang galian golongan C

Bahan tambang galian golongan C, merupakan bahan galian tambang berupa pospat, nitrat, halite, asbes, talk, mika, andesit, pasir dan bahan galian lainnya yang tidak termasuk ke dalam klasifikasi bahan galian golongan A atau golongan B.

Dalam UU No 4 Tahun 2009, galian C masuk dalam kategori pertambangan mineral.

Dalam penjelasan yang lebih sederhana “Galian C” adalah bahan tambang yang lumrah digunakan untuk pembangunan infrastruktur. Baik bangunan pribadi seperti rumah, dan swasta maupun pemerintah seperti pembangunan jalan dan jembatan. Bahan tambang tersebut berupa pasir kali, batu pecah, krolol, tanah hurug, padas, dan lainnya.

Galian C merupakan pertambangan rakyat, artinya dilakukan oleh masyarakat yang berdomisili di area pertambangan secara kecil-kecilan atau gotong royong dengan alat-alat sederhana. Tujuan mereka adalah untuk meningkatkan kehidupan sehari-hari. Dilaksanakan secara sederhana dan dengan alat sederhana, jadi tidak menggunakan teknologi canggih, sebagaimana halnya dengan perusahaan pertambangan yang mempunyai

modal besar dan memakai teknologi canggih. Dari uraian di atas, dapat dikemukakan unsur-unsur pertambangan rakyat, yaitu:

1. Usaha pertambangan
2. Bahan galian meliputi bahan galian strategis, vital dan galian C
3. Dilakukan oleh rakyat
4. Domisili di area tambang rakyat
5. Untuk penghidupan sehari-hari
6. Dusahakan dengan cara sederhana

Salah satu bahan galian yang cukup banyak dikandung bumi Indonesia ini yaitu pasir. Pasir merupakan salah satu bahan baku utama untuk bangunan sipil seperti rumah, gedung, jalan, jembatan, pelabuhan, bendungan dan lain-lain, baik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat lokal maupun komoditi keluar daerah tempat penambangan dilakukan (Dinas Lingkungan Hidup Kehutanan dan Pertambangan Kab. Cirebon, 2005).

2.2.5 Sumber daya Panas Bumi (Geothermal)

Indonesia merupakan salah satu negara terbesar pengguna energi listrik karena jumlah populasi melebihi 250 juta orang, untuk itu permintaan dalam negeri cukup tinggi. Selain itu, Indonesia juga merupakan produsen energi terbarukan terbesar di Asia Tenggara. Potensi sumber daya alam cukup melimpah ruah di negara ini. Sebagian besar sumber energi pembangkit listrik di Indonesia yang ada saat ini bisa dibilang kurang ramah lingkungan dan belum terbaharukan. Metode yang digunakan untuk menghasilkan listrik paling besar di Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil seperti batubara dan minyak bumi. Jika energi listrik tidak segera beralih ke sumber energi alternatif yang lebih efektif dan ramah lingkungan, negara kita akan semakin tertinggal.

Secara geografis, Indonesia terletak di daerah yang dilewati cincin api pasifik atau biasa disebut "*ring of fire*" yang mengelilingi Samudra Pasifik. Meskipun daerah ini rawan akan bencana, sisi baiknya adalah sungguh kaya akan potensi sumber daya alamnya (Bratakusuma, 2016). Secara teknis, proses pemanasan air oleh geothermal tersebut setelah dimanfaatkan untuk tenaga penggerak turbin akan diproses kembali dengan cara didinginkan. Kemudian dialirkan kembali melewati dapur pemanas untuk di ubah menjadi uap panas kembali, proses ini berlaku seterusnya.

Menurut Herman Darnel Ibrahim, Vice President International Geothermal Association, dalam acara *Organizing Committee World Geothermal 2010*, total potensi panas bumi di dunia mencapai 40.000 GW. Sedangkan kebutuhan energi seluruh dunia setara 15.000 GW. Potensi energi panas bumi di Indonesia yang mencapai 27 GWe sangat erat kaitannya dengan posisi Indonesia dalam kerangka tektonik dunia. Ditinjau dari munculnya



Gambar 27.
Peta sebaran potensi geothermal Indonesia
(Photo credit: <http://kanalsatu.com/id/post/296/potensi-energi-panas-bumi-indonesia-capai-29-000-mw>)

panas bumi di permukaan per satuan luas, Indonesia menempati urutan keempat dunia, bahkan dari segi temperatur yang tinggi, merupakan kedua terbesar. Sebagian besar energi panas bumi yang telah dimanfaatkan di seluruh dunia merupakan energi yang diekstrak dari sistem hidrotermal, karena pemanfaatan dari *hot-igneous system* dan *conduction-dominated system* memerlukan teknologi ekstraksi yang tinggi.

Sistem hidrotermal erat kaitannya dengan sistem vulkanisme dan pembentukan gunung api pada zona batas lempeng yang aktif di mana terdapat aliran panas (*heat flow*) yang tinggi. Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng aktif yang memungkinkan panas bumi dari kedalaman ditransfer ke permukaan melalui sistem rekahan. Posisi strategis ini menempatkan Indonesia sebagai negara paling kaya dengan energi panas bumi sistem hidrotermal yang tersebar di sepanjang busur vulkanik. Sehingga sebagian besar sumber panas bumi di Indonesia tergolong mempunyai entalpi tinggi. Panas bumi merupakan sumber daya energi terbarukan yang ramah lingkungan (*clean energy*) dibandingkan dengan sumber energi fosil. Dalam proses eksplorasi dan eksploitasinya tidak membutuhkan lahan permukaan yang terlalu besar.

Energi panas bumi bersifat tidak dapat diekspor, maka sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri. Sampai tahun 2004, sebanyak 252 area panas bumi telah diidentifikasi melalui inventarisasi dan eksplorasi. Sebagian besar dari jumlah area tersebut terletak di lingkungan vulkanik, sisanya berada di lingkungan batuan sedimen dan metamorf. Dari

jumlah lokasi tersebut mempunyai total potensi sumber daya dan cadangan panas bumi sebesar sekitar 27.357 MWe. Dari total potensi tersebut hanya 3 persen (807 MWe) yang telah dimanfaatkan sebagai energi listrik dan menyumbangkan sekitar 2 persen dalam pemakaian energi listrik nasional.

Setelah Keppres No. 5/1998 yang menunda dan mengkaji kembali beberapa proyek panas bumi, belum ada regulasi termasuk Keppres No. 76/2000 yang berhasil menarik investasi baru. Terbitnya UU No. 27 Tahun 2003 tentang panas bumi diharapkan akan memberikan kepastian hukum dalam mendorong investasi untuk pengembangan panas bumi. Selain itu, UU No. 20 Tahun 2002 Tentang Ketenagalistrikan memberikan kesempatan pengembangan pembangkit tenaga listrik dari sumber energi baru terbarukan setempat di wilayah kompetisi dan non kompetisi pada *off grid* dan *on grid*.

Mengacu pada UU No. 27/2003 dan UU No. 20/2002 tersebut telah dibuat suatu peta jalan (*road map*) panas bumi sebagai pedoman dan pola tetap pengembangan dan pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia. Industri panas bumi yang diinginkan yang tertuang dalam peta perjalanan tersebut antara lain pemanfaatan untuk tenaga listrik sebesar 6000 MWe dan berkembangnya pemanfaatan langsung (agrobisnis, pariwisata, dll) pada tahun 2020. Untuk mencapai target pengembangan panas bumi sebesar 6.000 MW dan pemakaian energi terbarukan nonhidro skala besar 5 persen dalam *energy mix* untuk tenaga listrik di tahun 2020 maka perlu percepatan investasinya.

Untuk itu, selain 33 WKP yang telah ada, pemerintah telah membuat peta saran WKP untuk 28 lokasi panas bumi yang didasarkan pada besarnya potensi energi yang ada di wilayah tersebut. Dengan adanya neraca potensi dan ditetapkan WKP baru diharapkan akan mempercepat pengembangan panas bumi untuk memenuhi kebutuhan energi domestik yang dapat mendorong pertumbuhan perekonomian nasional.

Distribusi, Klasifikasi, dan Potensi Energi Panas Bumi

Sekitar 80 persen lokasi panas bumi di Indonesia berasosiasi dengan sistem vulkanik aktif seperti Sumatra (81 lokasi), Jawa (71 lokasi), Bali dan Nusa Tenggara (27 lokasi), Maluku (15 lokasi), dan terutama Sulawesi Utara (7 lokasi). Sedangkan yang berada di lingkungan non vulkanik aktif yaitu di Sulawesi (43 lokasi), Bangka Belitung (3 lokasi), Kalimantan (3 lokasi), dan Papua (2 lokasi). Dari 252 lokasi panas bumi yang ada, hanya 31 persen yang telah disurvei secara rinci dan didapatkan potensi cadangan. Di sebagian besar lokasi terutama yang berada di daerah terpencil masih dalam status survei pendahuluan sehingga didapatkan potensi sumber daya.

Total potensi panas bumi dari 252 lokasi sebesar 27.357 MWe terdiri dari sumber daya sebesar 14.007 MWe dan cadangan sebesar 13.350 MWe (Tabel 5). Data potensi ini merupakan data dari Direktorat Inventarisasi

No	Provinsi	Jumlah lokasi	Potensi Energi					Total	Kapasitas Terpasang
			Potensi Lapangan						
			Sumber Daya		Cadangan				
Spekulasi	Hipotesis	Terduga	Mungkin	Terbukti					
1	Aceh	17	630	398	292			1320	
2	Sumatra Utara	16	1500	170	1627		329	3626	2
3	Sumatra Barat	16	825	73	758			1656	
4	Bengkulu	5	450	223	600			1273	
5	Bangka Belitung	3	75					75	
6	Jambi	8	375	259	358	15	40	1047	
7	Riau	1	25					25	
8	Sumatra Selatan	5	725	392	794			1911	
9	Lampung	13	925	838	1072		20	2855	
10	Banten	7	450	100	285			835	
11	Jawa Barat	38	1500	784	1297	480	1557	5618	725
12	Jawa Tengah	14	275	342	614	115	280	1626	60
13	Yogyakarta	1			10			10	
14	Jawa Timur	11	137,5	295	774			1206,5	
15	Bali	5	75		226			301	
16	NTB	3		6	108			114	
17	NTT	19	290	353	609		14	1266	
18	Kalimantan Barat	3	50					50	
19	Kalimantan Utara	5	25	125	540	110	65	865	20
20	Gorontalo	2	25		15			40	
21	Sulawesi Tengah	14	275		106			381	
22	Sulawesi Tenggara	13	250		51			301	
23	Sulawesi Selatan	16	325		49			374	
24	Maluku Utara	9	150	117	42			309	
25	Maluku	6	125		100			225	
26	Irian Jaya	2	50					50	
	Total	252	9532,5	4475	10317	728	2305	27359,5	807
			14007,5		13350				

Tabel 5.
Potensi Panas
Bumi Indonesia
Tahun 2004

Sumber Daya Mineral (DIM) dan institusi lain yang bergerak di bidang panas bumi. Hal ini menjadi kendala dalam penghitungan neraca potensi karena dengan sumber data yang berbeda kemungkinan dihitung dengan metode yang juga berbeda. Sedangkan dalam penghitungan yang dilakukan oleh DIM juga masih sangat subyektif.

Metode yang dipergunakan dalam penghitungan potensi energi untuk masing-masing sumber daya dan cadangan juga berbeda. Kendala-kendala yang masih dijumpai dalam penghitungan potensi panas bumi antara lain dalam penentuan temperatur reservoir dan luas daerah prospek. Penghitungan temperatur dengan metode geotermometri yang berbeda akan menghasilkan temperatur yang berbeda pula. Demikian juga dengan penentuan luas prospek yang dapat ditentukan dengan zona tahanan jenis rendah, gradien tahanan jenis dan pendekatan geologi. Namun demikian data potensi ini bersifat dinamis yang akan berubah dan dimutakhirkan setiap waktu sesuai dengan tingkat kegiatan eksplorasi yang dilakukan baik oleh pemerintah maupun oleh pengembang.

Pemanfaatan

Apabila ditinjau dari total potensi yang ada, pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia masih sangat kecil yaitu sekitar 3 persen. Pemanfaatan ini juga masih terbatas untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dengan menghasilkan energi listrik sebesar 807 MWe yang sebagian besar masih terkonsentrasi di Pulau Jawa (97 persen). Tujuh lapangan panas bumi yang

telah dimanfaatkan sebagai PLTP terletak di Jawa Barat (Gunung Salak 330 MWe, Wayang Windu 110 MWe, Kamojang 140 MWe, dan Darajat 145 MWe), Jawa Tengah (Dieng 60 MWe), Sumatra Utara (Sibayak 2 MWe), dan Sulawesi Utara (Lahendong 20 MWe).

Energi panas bumi di Indonesia sangat beragam, sehingga selain pemanfaatan tidak langsung (PLTP), dapat dimanfaatkan secara langsung (*direct uses*) seperti untuk industri pertanian (antara lain untuk pengeringan hasil pertanian, sterilisasi media tanaman, dan budi daya tanaman tertentu). Dibandingkan dengan negara lain (Cina, Korea, New Zealand) pemanfaatan langsung di Indonesia masih sangat terbatas terutama hanya untuk pariwisata yang umumnya dikelola oleh daerah setempat. Untuk mengembangkan pemanfaatan energi panas bumi secara langsung di Indonesia masih diperlukan riset dan kajian lebih lanjut.

2.2.6 Sumber daya Garam

Secara umum, garam merujuk pada suatu senyawa kimia dengan nama Sodium Klorida atau Natrium Klorida (NaCl). Garam merupakan salah satu kebutuhan pelengkap untuk pangan dan sumber elektrolit bagi tubuh manusia (Purbani, 2000). Garam merupakan satu dari sembilan jenis bahan kebutuhan pokok masyarakat menurut keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan No. 15/MPP/KEP/2/1998. Sebagai negara kepulauan, Indonesia mempunyai potensi yang besar untuk menghasilkan dan berswasembada garam. Namun demikian, selama ini jumlah produksi garam yang ada belum mampu memenuhi kebutuhan garam dalam negeri. Pusat pembuatan garam terkonsentrasi di Pulau Jawa dan Madura, dengan luas masing-masing sebesar 10.231 Ha dan 15.347 Ha.

Madura sebagai salah satu sentra garam di Indonesia berkontribusi sedikitnya sekitar 5 persen terhadap produksi nasional. Sentra garam di luar Pulau Jawa berkontribusi minimal 1,5 persen terhadap produksi nasional. Kabupaten sentra garam di pantai Utara Jawa meliputi Kabupaten Indramayu dan Cirebon di Jawa Barat, Kabupaten Pati dan Rembang di Jawa Tengah. Kabupaten Sampang, Pamekasan dan Sumenep merupakan sentra garam yang berada di Pesisir Selatan Madura. Lokasi pembuatan garam lainnya terdapat di Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Sumatra dengan luas area masing-masing sebesar 1.155 Ha, 2.040 Ha, dan 1.885 Ha (Gambar 28). Dengan demikian, luas areal ladang garam di Indonesia seluruhnya sebesar 30.658 Ha, di mana sekitar 25.542 Ha dikelola secara tradisional oleh rakyat (Purbani, 2000).

Kebutuhan garam nasional dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan penambahan penduduk dan perkembangan industri di Indonesia. Kebutuhan garam pada tahun 2007 sebesar 2,7 juta ton, meningkat menjadi 2,9 juta ton pada tahun 2008 dan 2009, serta menjadi 3 juta ton pada tahun 2010. Namun di sisi lain, produksi garam di Indonesia dari tahun ke



Gambar 28.
Peta Lokasi
Produksi Garam
Rakyat
(Photo credit:
<http://statistik.kkp.go.id/sidatikdev/Berita/Analisis%20Produksi%20Garam>)

tahun mengalami penurunan. Dari jumlah kebutuhan garam tersebut di atas, sekitar 1,6-1,9 juta ton dipenuhi dari impor (Assadad dan Utomo, 2011).

Di samping sebagai produk sebuah industri, garam juga digunakan sebagai bahan bantu di berbagai industri. Penggunaan garam selama ini terkonsentrasi pada tiga bidang, yaitu bahan pangan, industri (sebagai bahan baku maupun bahan bantu), dan bahan pengawet (Prasetyaningsih, 2008). Garam merupakan komoditas yang cukup penting pada industri perikanan, terutama industri pengolahan hasil perikanan. Industri pengolahan hasil perikanan, baik tradisional maupun modern memanfaatkan garam sebagai bahan bantu pengolahan. Umumnya, sebagian besar pemanfaatan garam pada industri pengolahan hasil perikanan diaplikasikan pada pengolahan yang bersifat tradisional, seperti pembuatan ikan asin, ikan pindang, dan produk ikan fermentasi. Industri pengolahan yang modern umumnya memanfaatkan garam untuk memperbaiki cita rasa, penampilan, dan sifat fungsional produk yang dihasilkan. Secara umum, garam berfungsi sebagai pengawet, penambah cita rasa maupun untuk memperbaiki penampilan tekstur daging ikan (Yankah *et al.*, 1996; Winarno, 1997; Irianto & Giyatmi, 2009).

Industri Pengolahan Garam di Indonesia

Walaupun Indonesia termasuk negara maritim, namun usaha meningkatkan produksi garam belum diminati, termasuk dalam usaha meningkatkan kualitasnya. Di lain pihak kebutuhan garam dengan kualitas yang baik masih dipenuhi melalui impor, terutama garam beriodium dan garam industri (Purbani, 2000). Kebutuhan dan impor garam nasional disajikan pada Tabel 6 sedangkan jumlah produksi garam nasional di Indonesia disajikan pada Gambar 29.

Jumlah produksi garam di Indonesia ditargetkan terus meningkat dari tahun ke tahun. Produksi garam nasional berasal dari industri garam rakyat sebesar 70 persen dan PT. Garam sebesar 30 persen. Produksi garam di

Indonesia rata-rata 60–70 ton per hektar per tahun. Pada tahun 2011, produksi garam nasional ditargetkan mencapai 1,2 juta ton. Angka ini ditetapkan mengingat rata-rata produksi garam nasional sekitar 1,21 juta ton. Namun demikian, jumlah itu jauh lebih kecil dari kebutuhan garam nasional yang mencapai 3 juta ton. Hal ini menyebabkan Indonesia melakukan impor garam sebesar 1,6–1,9 juta ton setiap tahun (Candra, 2010).

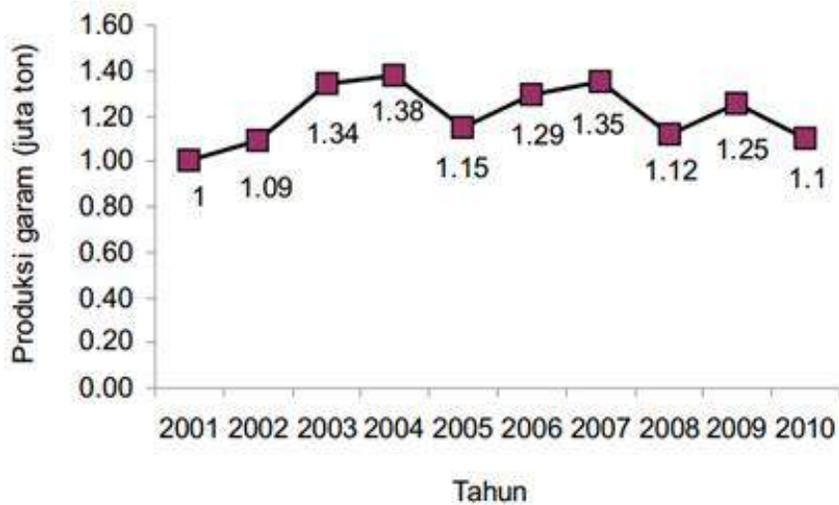
Kementerian Kelautan dan Perikanan telah membuat peta potensi lahan garam pada tahun 2011 dalam rangka peningkatan produksi dan swasembada garam. Beberapa wilayah seperti pulau Jawa dan Nusa Tenggara Barat mengalami pertambahan luas lahan garam yang signifikan bila dibandingkan dengan kondisi pada tahun 2000. Rekapitulasi potensi lahan garam tahun 2011 disajikan pada Tabel 6. Ada tiga metode proses pembuatan garam berdasarkan sumbernya, yaitu sistem kristalisasi total air laut, pembuatan garam dari larutan garam alamiah, dan pengambilan garam dari batuan garam atau melalui penambangan (Prasetyaningsih, 2008).

Tabel 6. Perbandingan jumlah garam yang dibutuhkan dengan yang diimpor

Tahun	Jumlah garam yang dibutuhkan (ton)	Jumlah garam impor (ton)
2006	2.600.000	1.600.000
2007	2.700.000	1.630.000
2008	2.900.000	1.630.000
2009	2.900.000	1.700.000
2010	3.000.000	1.900.000

(Sumber: Candra, 2010)

Gambar 29. Produksi garam nasional di Indonesia (Candra, 2010)



Pengembangan Produksi Garam di Indonesia

❖ Aplikasi geomembran pada meja kristalisasi garam

Proses kristalisasi garam konvensional dengan media tanah, sering kali menghasilkan kristal garam yang cenderung berwarna kusam (kecoklatan). Hal ini dipengaruhi oleh partikel tanah ataupun material organik tanah yang menempel pada kristal garam. Persiapan yang kurang baik pada meja kristal pada saat pra produksi juga mempengaruhi penetrasi air tua ke dalam porositas meja kristal (*seepage*) sehingga mengurangi kuantitas produksi. Faktor-faktor tersebutlah yang mendasari ide penggunaan geomembran untuk kristalisasi garam di tambak. Penggunaan geomembran pada proses kristalisasi garam bertujuan untuk mengurangi kontak langsung air tua dengan dasar lahan kristalisasi sehingga diperoleh kristal garam yang putih bersih.

Penggunaan geomembran untuk memproduksi garam di Indonesia dipelopori oleh PT Garam sejak tahun 2012 pada tiga lokasi yaitu Sumenep, Pamekasan, dan Sampang di Pulau Madura. Penggunaan geomembran yang dipasang pada areal seluas 30 ha di Sampang mampu meningkatkan produksi garam hingga 40 persen dibandingkan cara konvensional. Selain jumlah produksi yang meningkat, kualitas garam yang dihasilkan juga mengalami perbaikan. Dengan menggunakan geomembran, seluruh garam yang dihasilkan merupakan garam K1. Dengan penggunaan geomembran juga mampu mempercepat waktu panen perdana, sehingga mampu memperpanjang umur produksi garam. Pada kondisi cuaca yang normal pemanenan pertama pada bulan Mei di mana biasanya panen pertama dengan menggunakan metode konvensional baru terjadi pada bulan Juli.

Geomembran yang sering dipakai dalam proses pembuatan garam adalah *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE). Bahan polyethylene (baik HDPE dan LDPE) memiliki resistansi yang baik terhadap bahan organik (hidrokarbon, alkohol ataupun aldehid). Bahan LDPE memiliki ketahanan suhu paling tinggi sampai dengan 80°C. Sementara HDPE memiliki ketahanan terhadap suhu paling tinggi hingga 105°C. Ini menunjukkan bahwa geomembran berbahan LDPE dan HDPE dapat dipergunakan pada kondisi lingkungan tambak garam yang hanya berkisar antara 30 – 35° C.

Menurut Sagala *et al.*, (2015) dibandingkan dengan produksi garam sistem konvensional, penggunaan geomembran pada meja kristalisasi garam memiliki keunggulan pada kenampakan fisik garam yang lebih putih (Gambar 30). Kelebihan penggunaan geomembran dalam produksi garam dapat dilihat pada Tabel 7.

Gambar 30. Produksi garam dengan aplikasi geomembran (HDPE): Pra produksi, geomembran telah terpasang selama 1 tahun (kiri), produksi garam hasil aplikasi geomembran pada tahun kedua (kanan)



Tabel 7. Kelebihan Metode Garam Geomembran dibanding Metode Konvensional

Metode Geomembran	Metode Konvensional
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak ada proses pengerasan kembali lahan kristalisasi sebelum proses produksi selanjutnya 2. Kualitas Garam: <ol style="list-style-type: none"> a. Putih bersih b. Sedikit pengotor c. NaCl : 93,54-95,87 % d. Kadar air : 2,96-5,79 % e. Ca : 0,4 - 1,04 % f. Mg : 0,1 - 0,14 % 3. Tidak ada proses pencucian setelah panen 4. Lebih mudah pengumpulan kristal 5. Persiapan yang diperlukan untuk proses selanjutnya membutuhkan waktu hanya 1,5-2 jam 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Meja kristalisasi harus selalu dikeraskan kembali sebelum proses selanjutnya 2. Kualitas Garam: <ol style="list-style-type: none"> a. Putih buram b. Lebih banyak pengotor c. NaCl : 84,18-86,52 % d. Kadar air : 6,60-10,30 % e. Ca : 1,26 - 1,62 % f. Mg : 0,16 - 0,18 % 3. Ada proses pencucian setelah panen 4. Pengumpulan kristal garam lebih susah 5. Persiapan yang diperlukan untuk proses selanjutnya membutuhkan waktu 1,5 - 2 hari

(Sumber: Sagala et al., 2015)

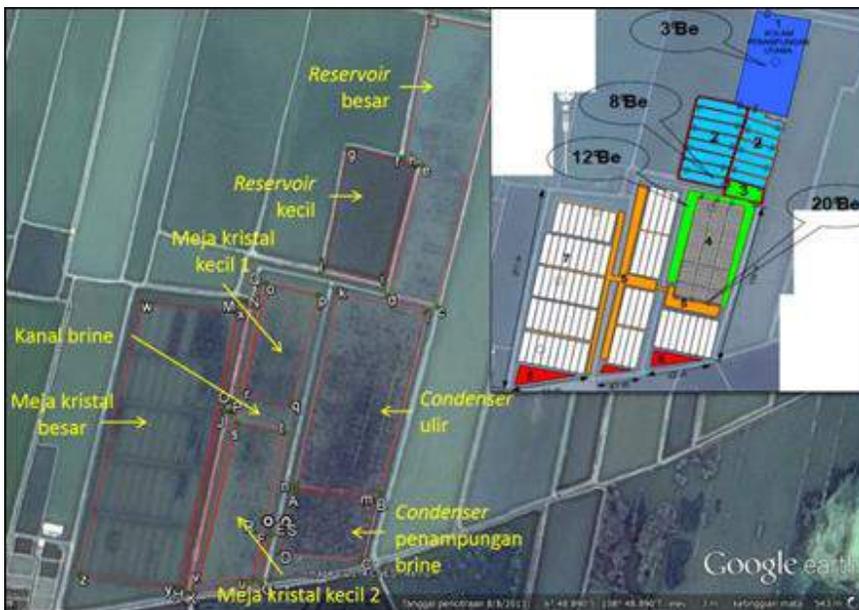
❖ **Teknologi ulir filter**

Teknologi Ulir Filter (TUF) merupakan suatu teknik pembuatan garam yang dikembangkan oleh Bapak Sanusi, seorang petambak garam dari Desa Ambulu Kecamatan Losari Kabupaten Cirebon. Prinsip utama dalam teknik pembuatan garam ini adalah evaporasi air laut dengan bantuan sinar matahari yang dititikberatkan pada modifikasi lahan tambak dan kontrol kualitas air laut menjadi air tua (*brine*). Modifikasi lahan dilakukan dengan cara membuat petakan-petakan kecil memanjang yang saling terhubung secara berseri atau lebih dikenal dengan kolam ulir. Upaya mengurangi unsur-unsur pengotor yang terkandung dalam air tua sebagai kontrol kualitas air laut hingga menjadi air tua (*brine*) dilakukan dengan cara meletakkan filter pada pintu masuk menuju kolam penampungan (*reservoir*), kolam peminihan (*condenser*) dan meja kristalisasi (*crystalizers*). Sistem filterisasi dengan memanfaatkan material alam (Bramawanto et al., 2015).

a. **Struktur tambak garam TUF**

Struktur utama tambak garam menggunakan TUF terdiri dari kolam penampungan (*reservoir*), kolam peminihan (*condenser*), dan meja kristalisasi (*crystalizer*) seperti yang terlihat pada Gambar 31. Adapun fungsi dari masing-masing kolam dijelaskan sebagai berikut:

- Kolam penampungan (*reservoir*) berfungsi sebagai tempat awal mengalirkan air laut dan menampung air laut yang akan dievaporasi sebagai bahan baku garam. Kolam ini menampung air laut dengan kadar kepekatan 1-5° Be;
- Kolam peminihan (*condenser*) merupakan petakan-petakan (kolam) tempat proses penuaan air laut dengan evaporasi sinar matahari. Pada sistem TUF, kolam peminihan ini dibuat dalam petakan-petakan berseri (ulir) dengan membentuk semacam saluran yang tidak lebih dari 3 m. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses penuaan air laut dengan mempertahankan panas matahari yang terserap oleh tanah. Pada kolam peminihan ini berlangsung penuaan air laut dari kepekatan 5 sampai menjadi kepekatan 25° Be. Air tua dengan kepekatan 25° Be merupakan bahan baku garam yang akan dialirkan ke dalam meja kristal (*crystalizers*);
- Meja kristalisasi (*crystalizers*) merupakan petakan-petakan di mana terjadi kristalisasi air tua kepekatan 25° Be menjadi kristal garam.



Gambar 31. Lahan Teknik Ulir Filter milik Bapak Sanusi di Ambulu Losari Kab. Cirebon (Pengolahan data, 2018)

b. Proses evaporasi mengalir dan saling berhubungan

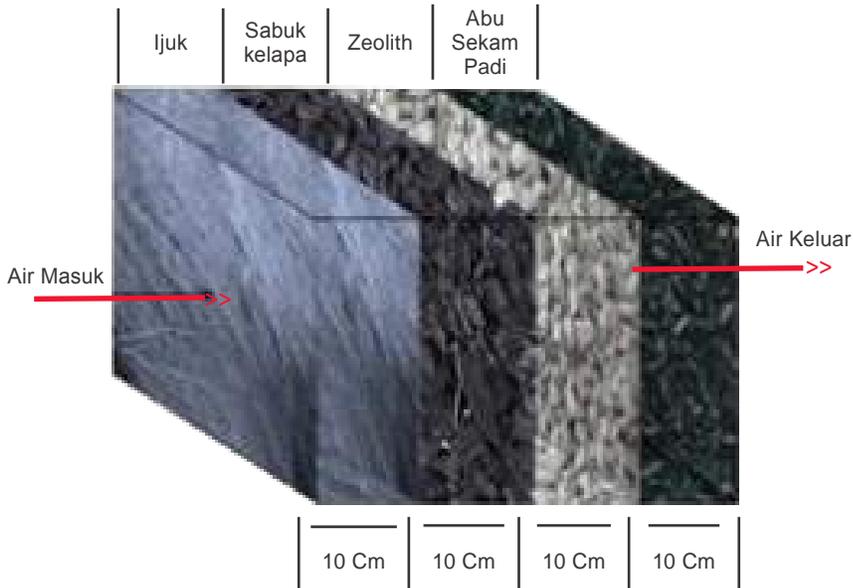
Proses evaporasi dimulai dengan mengalirkan air laut dari kolam penampungan utama ke kolam ulir besar/kecil. Selama proses pengaliran, air laut mengalami pemekatan dari 3° Be menjadi 8o Be. Ulir besar pada awalnya dibuat dengan mempertimbangkan kapasitas daya tampung air dan kemudahan pembersihan endapan kotoran yang kemungkinan berasal dari material suspensi yang tercampur dalam air laut. Air laut selanjutnya ditampung pada kolam penampung air tua dan selama di kolam penampungan air diproses penuaannya hingga 12° Be, sebelum dialirkan ke sistem ulir kecil dengan ketinggian air dipertahankan antara 5 hingga 7 cm.

Selama mengalir di parit-parit pada sistem ulir kecil dalam kurun waktu 7-10 hari, air laut mengalami peningkatan kepekatan hingga 20o Be, tingkat kepekatan yang siap untuk proses kristalisasi. Muara dari sistem ulir kecil adalah petak-petak meja garam dengan luasan 210 hingga 315 m². Lebar meja kristal dibuat sepanjang 7 meter dengan tujuan mempermudah proses pemanenan, karena masih berada dalam jangkauan alat pemanen, sedangkan panjangnya menyesuaikan kondisi lahan (30-45 meter). Panen garam pertama dilakukan setelah 25-30 hari dari proses peminihan hingga kristalisasi di meja garam. Selanjutnya waktu pungut panen garam dilakukan setiap 10 hari. Total produksi garam krosok dalam satu musim panen mencapai 200 ton/ha.

c. Proses filterisasi

Proses pengaliran air laut menuju kolam penampungan utama air laut dialirkan melalui sistem filter, demikian pula pada proses pengaliran air tua dari sistem ulir kecil menuju petak kristalisasi. Pada lahan kristalisasi, juga dicampurkan abu sekam padi dengan tujuan menyerap garam yang tidak diinginkan. Pencampuran abu sekam padi ini dilakukan pada awal persiapan lahan dengan komposisi 40 kg abu sekam padi ditambahkan langsung ke lahan dan dilakukan pengadukan lahan. Proses ini diberikan di awal saja.

Filterisasi ini merupakan langkah penyiapan kualitas bahan baku baik air laut maupun air tua dengan mengurangi material-material yang kemungkinan masih tercampur. Filter dikembangkan dengan memanfaatkan bahan alami dan mudah didapatkan, yakni ijuk, zeolit, arang batok dan batu koral (Gambar 32). Ijuk berfungsi untuk membersihkan partikel lumpur, zeolit mempercepat kepekatan, arang batok untuk penjernih air, batu koral yang berfungsi menyedot ion yang negatif, ion yang tidak baik untuk pembentukan proses garam untuk kualitas industri, dan abu sekam padi untuk menyerap garam-garam selain NaCl yang tidak diinginkan.



Gambar 32. Komponen filter yang digunakan pada teknologi ulir filter

❖ Rumah garam prisma

Indonesia yang berada pada wilayah pertemuan Samudra Pasifik dan Samudra India sangat terpengaruh oleh dinamika iklim dan cuaca yang disebabkan oleh adanya *El-Nino Southern Oscillation (ENSO)* dan *Indian Ocean Dipole (IOD)*. Tambak garam dengan metode prisma ini menggunakan geomembran sebagai dasar media lahan garam. Tujuannya adalah untuk mempercepat proses penguapan air laut. Sedangkan atapnya dari plastik transparan untuk melindungi garam dari hujan. Rangka dari rumah garam prisma ini terbuat dari bambu yang kuat (gambar 33). Geomembran sendiri memiliki kelebihan tahan terhadap sinar ultraviolet, tahan terhadap larutan kimia yang berbahaya, kedap air, kuat, performa jangka panjang yang stabil, fleksibel serta memiliki elongasi yang cukup tinggi (tidak mudah melar) sehingga dapat dikombinasikan dengan berbagai desain struktur dan permukaan tanah.

2.2.7 Sumber Daya Arkeologi Maritim

Sumber Daya arkeologi maritim (SDAM) sekarang ini menempati posisi yang penting sebagai salah satu sumber daya non-hayati laut Indonesia. Sumber daya ini tersebar luas selaras dengan banyaknya peristiwa kesejarahan di wilayah Nusantara yang merupakan cikal bakal sejarah wilayah laut Indonesia sekarang. Sumber daya arkeologi maritim telah di klasifikasikan menjadi sumber daya non hayati laut menurut sifat fisik dan materinya, terdiri dari tinggalan-tinggalan sumber daya budaya bahari dan aktivitas masyarakat pesisir dari masa lalu seperti kapal karam kuno, mercusuar kuno, pelabuhan

Gambar 33.
Penerapan
Rumah Garam
Prisma di
tambak garam
(Photo credit:
Dit. Jaskel,
Ditjen PRL,
KKP))



atau dermaga kuno, ataupun sisa-sisa pemukiman kuno yang ditemukan di dasar laut dan pesisir pantai (Supangat, 2006; Dillenia dan Kusuma, 2010).

Di Indonesia, SDAM lebih populer dengan sebutannya sebagai benda berharga muatan kapal tenggelam (BMKT). Pada prakteknya BMKT lebih kental aspek komersialisasinya bila dibandingkan dengan keinginan untuk melakukan pengelolaan berkelanjutan (*sustainable resources*). Menurut Rahardjo (2011), BMKT dihubungkan dengan bentuk pemanfaatan melalui penjualan langsung terhadap aset peninggalan purbakala, baik secara utuh ataupun bagian-bagian tertentu karena dianggap memiliki nilai ekonomi melalui balai lelang atau bahkan di jual secara gelap. Pada era sekarang, arah kebijakan terkait SDAM dan BMKT semakin bergulir kencang menuju pemanfaatan dan pelestariannya sebagai warisan budaya bawah air bangsa Indonesia (*underwater cultural heritage*).

Sumber daya arkeologi maritim berupa sebaran tinggalan arkeologi bawah air (situs) umumnya telah menyatu dengan ekosistem dan lingkungan perairannya dalam rentang waktu yang lama. Bahkan, ada yang telah diselimuti terumbu karang secara keseluruhan. Kondisi yang demikian ini, ditinjau dari sudut pandang arkeologis merupakan ancaman secara alamiah terhadap kelestarian situs (*natural threat*). Pada sisi yang berbeda, ekosistem terumbu karang dan lingkungan perairan merupakan faktor eksternal situs yang memberi tambahan nilai penting situs akan keberadaannya sebagai sumber daya arkeologi maritim secara *in situ*, selain kelestarian ekosistem terumbu karang dan lingkungan perairan yang harus tetap dipertahankan demi keberlanjutan ekologi sumber daya laut. Berdasarkan hal ini, pemikiran

untuk dapat memadukan dan mengelola keduanya secara terintegrasi akan memberi peluang yang besar untuk melakukan pemanfaatan langsung terhadap keberadaan SDAM tersebut. Dilandasi pemikiran tersebut maka kajian ini dipilih. Diharapkan penilaian sumber daya arkeologi maritim *in situ* ini akan menghasilkan untuk situs-situs kapal tenggelam ini akan menghasilkan model dan strategi pengelolaan *in situ* yang terintegrasi dengan ekosistem dan lingkungan perairannya dapat menjadi salah satu jalan keluar bagi upaya pengelolaan sumber daya arkeologi maritim dengan tanpa merusak keberadaannya (*non-destructive*). Pada gilirannya nanti, dapat menjadi alternatif peningkatan pendapatan nelayan dan masyarakat disekitarnya. Efek nyata yang dirasakan ini pada akhirnya akan menimbulkan motivasi untuk melindungi sehingga kelestarian sumber daya arkeologi maritim dan lingkungan perairan pun akan tetap terjaga.

Di Indonesia, sumber daya arkeologi maritim merupakan benda cagar budaya yang harus dilindungi dan dilestarikan yang diatur dalam UU RI Nomor 11 tahun 2010 tentang Benda Cagar Budaya. Namun untuk pemanfaatannya juga telah di atur dalam UU Kelautan No 27/2007 tentang Pengelolaan WP3K sebagaimana telah diubah menjadi UU No 1/2014 serta UU No 32/2014 tentang Kelautan. Turunan UU tersebut telah diajukan terkait dengan maraknya pengangkatan ilegal dari Benda Muatan Kapal Tenggelam Kuno (BMKT) dan berakhirnya masa moratorium yaitu Rancangan Peraturan Men-KP tentang Pengangkatan BMKT oleh Pemerintah. Kekhawatiran akan maraknya kembali kegiatan pengangkatan oleh perusahaan komersial swasta dan asing, telah ditutup secara tegas oleh masuknya BMKT ini dalam Daftar Negatif Investasi (DNI) sebagaimana termaktub dalam Peraturan Presiden No. 44/2016 yang sekaligus mengakhiri berlakunya Perpres No.39/2014. Berdasarkan hal ini, pelestarian situs secara *in situ* dapat dikembangkan melalui pemanfaatannya sebagai salah satu daya tarik wisata bahari. Dengan demikian, potensi sumber daya arkeologi maritim berupa kapal tenggelam kuno secara *in situ* (Dillenia *et al.*, 2016) dapat dimanfaatkan selain untuk pengembangan ilmu pengetahuan, juga untuk pemanfaatan secara ekonomis seperti untuk pariwisata, di antaranya wisata bahari (wisata selam, snorkeling). Namun pemanfaatan terhadap situs-situs kapal tenggelam bersejarah tersebut perlu dilakukan dengan hati-hati karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable resources*) dan sangat rapuh terhadap ancaman dari luar baik karena kondisi alam maupun aktivitas manusia.

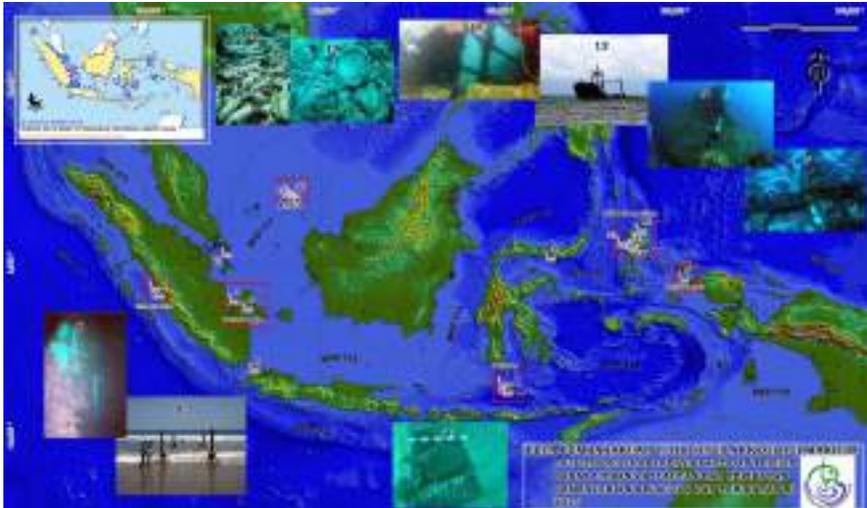
2.2.7.1 Persebarannya di Perairan Indonesia

Menurut sumber sejarah Cina ada sekitar 3.000 kapal *junk* China tidak kembali dan hilang di perairan Indonesia. Data Badan Riset Kelautan dan Perikanan Tahun 2004, terdapat 463 lokasi kapal tenggelam di perairan Indonesia. Hasil pemutakhiran data dari Pusat Riset Kelautan (dulu disebut Pusat Penelitian Pengembangan Pesisir dan laut – P3SDLP), Kementerian Kelautan dan Perikanan (Dillenia *et al.*, 2016), terdapat tambahan sekitar

Gambar 34.
Peta Sumber
daya Arkeologi
Maritim/Sebaran
Lokasi Kapal
Karam Kuno di
Perairan Indonesia,
yang pelaksanaan
pemetaannya
dilakukan oleh
Kementerian
Kelautan dan
Perikanan
(2000-2004)



Gambar 35 :
Pembaruan peta
lokasi sumber
daya arkeologi
maritim/sebaran
lokasi kapal karam
kuno di Perairan
Indonesia 2006-
2015 (Photo credit:
P3SDLP)



100-an situs kapal karam kuno. Berdasarkan arsip Belanda (Mulyadi, 2014), sekitar 243 kapal VOC tenggelam di perairan Indonesia. Menurut Tony Wells, dalam bukunya yang berjudul *Shipwreck & Sunken Treasure in Southeast Asia* (1995), kapal VOC yang tenggelam tersebut berhasil didata sebanyak 186 kapal dan diduga masih ada ratusan kapal dagang negara lainnya yang hilang di perairan Indonesia.

Batu karang menjadi penyebab utama kandas dan karamnya kapal-kapal tersebut saat terjadinya cuaca ekstrim seperti badai di lautan yang menyebabkan gelombang dan arus yang dapat menghempaskan kapal-kapal tersebut ke batu-batu karang yang banyak tersebar di Perairan Nusantara,

khususnya Selat Bangka Belitung dan Laut Jawa. Sementara itu, banyaknya perompak dan bajak laut yang bersarang di sekitar Perairan Laut China Selatan dan Selat Malaka mengincar kapal-kapal dagang *junk* China, VOC dan kapal-kapal dagang dari negara lainnya yang melintas kawasan perairan tersebut. Tidak sedikit kapal yang dibakar dan kemudian ditenggelamkan oleh para bajak laut tersebut untuk kemudian diambil muatannya yang penuh dengan barang-barang berharga di kapal tersebut.

Perang di laut juga terjadi di Perairan Indonesia yang mengakibatkan banyaknya armada kapal perang yang hilang dan karam di Lautan Indonesia, seperti yang terjadi pada tahun 1568, serangan Sultan Aceh Alauddin al-Qahhar terhadap kota Malaka yang sudah dikuasai oleh Portugal sejak 1511. Pertempuran di laut juga terjadi lagi antara Aceh dan Portugis pada tahun 1615 dan 1616 dengan skala yang sangat besar, serta pertempuran antara Belanda dan Portugis di Perairan Banten pada tahun 1601. Terjadinya Perang Dunia ke-II (PD II) menjadikan perairan Indonesia sebagai ajang pertempuran laut antara Jepang dan Sekutu di Perairan Laut Jawa, Makassar, Selat Bangka, Halmahera Utara hingga Morotai dan Perairan Papua yang pernah menjadi *basecamp* Sekutu untuk pertempuran di kawasan Pasifik. Bukti-bukti akan nilai strategis kawasan perairan Indonesia pada masa PD II dapat dibuktikan dengan banyaknya kapal-kapal perang Sekutu dan Jepang yang jatuh dan tenggelam di Perairan Indonesia (Sudaryadi, 2009).

Minimnya navigasi pelayaran di masa lalu juga menjadi penyebab karamnya sebuah kapal. Dapat dibayangkan mengarungi lautan tanpa dilengkapi dengan sistem navigasi untuk dapat mengetahui dan mendeteksi datangnya cuaca ekstrim, arus dan angin dicampur badai yang terkadang tidak bersahabat tentulah sangat berbahaya karena sewaktu-waktu dapat menghempaskan kapal mereka hingga tenggelam dan hancur berkeping-keping akibat karang-karang yang besar-besar dan runcing-runcing tersebut, khususnya saat melewati Selat Bangka, Selat Gelasa, dan Selat Karimata yang banyak menyimpan batu karang yg tersembunyi.

Kapal-kapal tenggelam bersejarah (kuno) pada umumnya ditemukan secara tidak sengaja oleh para nelayan yang sedang mencari ikan. Ada yang tidak sengaja terbawa oleh pukuk-pukuk alat pemancing ikan, atau saat para nelayan melakukan kegiatan *illegal fishing* dengan menggunakan dinamit dan meledakkan terumbu-terumbu karang untuk mendapatkan ikan, dan ternyata tanpa mereka sadari karang-karang tersebut merupakan bagian dari kapal yang tenggelam dan struktur kapal ikut hancur akibat peledakan tersebut. Para nelayan kemudian menjual informasi tersebut kepada para pemburu harta karun dengan imbalan yang tidak seberapa daripada hasil penjualan dan pelelangan artefak dari muatan kapal-kapal karam yang bisa mencapai 15 triliun rupiah. Sehingga banyak sekali sebaran situs kapal tenggelam bersejarah, namun telah tinggal sisa-sisa struktur kapal dan muatan yang telah hancur, yang sangat sulit dikenali dan diidentifikasi nilai sejarah yang

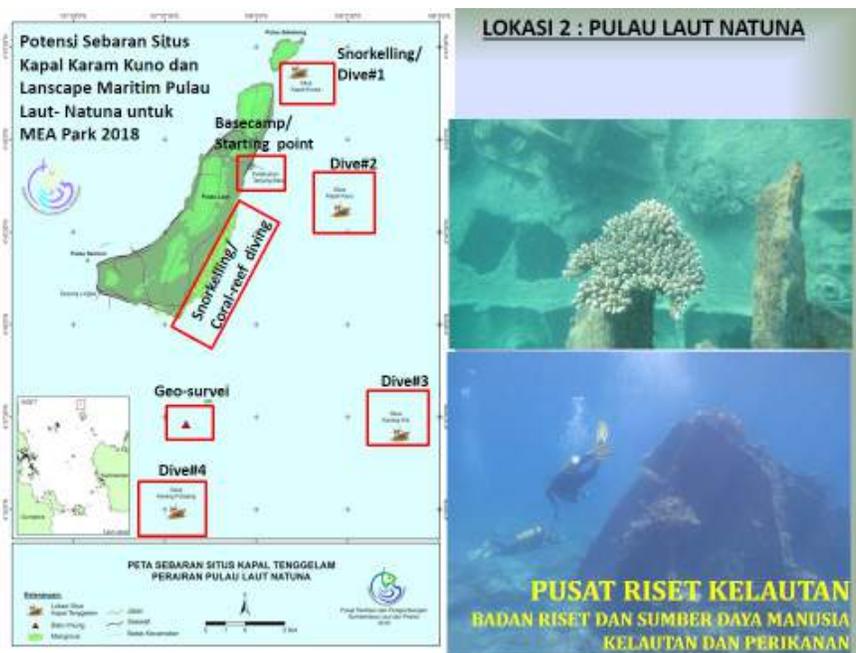
dimilikinya. Posisi kapal tenggelam juga banyak ditemukan secara tidak sengaja oleh para peneliti kelautan dan Angkatan Laut pada waktu mereka mengadakan survei batimetri (pemetaan morfologi dasar laut), serta biodiversitas terumbu karang di Perairan Indonesia.

Kapal-kapal tenggelam kuno di Perairan Indonesia seperti *Geldermalsen* (kapal dagang kuno milik VOC Belanda) yang ditemukan oleh Michael Hatcher antara lain *Teksing* (Junk China) yang di temukan oleh Michael Hatcher di Perairan Belitung, serta *Belitung Wreck*, *Intan Wreck* hingga Kapal Selam Perang Jepang *Ashigara* yang telah terkubur di dalam sedimen dasar laut. Bangkai-bangkai kapal karam ini dapat ditemukan dengan menggunakan analisis arsip, informasi nelayan, dan penggunaan teknologi peralatan survei laut, seperti *Side Scan Sonar*, *Multi Beam*, dan *Sub Bottom Profiler*. Sebaliknya, Kapal *Flor do Mar* (*Flo De la Mart*) yang diduga membawa batangan emas murni dan tenggelam di Perairan Indonesia justru tidak dapat ditemukan hingga kini, walaupun telah dilakukan proses identifikasi posisi kapal dengan menggunakan data arsip, penggunaan peralatan teknologi kelautan dan penyelaman khususnya kapal-kapal tenggelam kuno di Perairan Indonesia.

2.2.7.2 Penelitian Arkeologi Maritim sebagai Sumber daya Non Hayati Laut

Diawali dengan Penelitian potensi arkeologi maritim dilakukan di Perairan Natuna di Tanjung Senubing dan Teluk Buton. Pada lokasi ini ditemukan sisa-sisa kapal karam dan sebaran muatannya berupa botol-botol minuman antik

Gambar 36.
Hasil Riset
Potensi Sumber
Daya Arkeologi
Maritim untuk
Destinasi Wisata
Bahari yang
dilakukan oleh
Pusat Riset
Kelautan (Photo
credit: Dillenia
dan Troa,2016.





Gambar 37.
Potensi Sumber
Daya Arkeologi
Maritim di
Perairan Teluk
Buton Natuna
(Hasil penelitian
Pusriskel Tahun
2016-2017)

dari masa 1800-an dan sebaran keramik Tiongkok Kuno dari masa Dinasti Song, Ming, dan Yuan. Situs arkeologi maritim ini merupakan peninggalan sejarah dan arkeologis yang membuktikan tentang adanya kegiatan pelayaran, pengangkutan, dan perdagangan internasional yang melintasi Laut Natuna sejak zaman dahulu. Khususnya situs karang kapal pecah di Tanjung Senubing Perairan Natuna ini merupakan bukti otentik tentang aktivitas pelayaran dan perjalanan dari atau menuju Kerajaan Inggris Raya. Banyak sekali faktor-faktor di lingkungan Perairan Natuna yang mengancam kelestarian situs arkeologi maritim, khususnya Situs Karang Kapal Pecah di Perairan Tj. Senubing dan Pulau Senoa. Berdasarkan data survei tahun 2011 dan 2013 terdapat aktivitas manusia (*human activities*) yang merusak situs yaitu pencurian besar-besaran atau penjarahan terhadap terhadap BMKT, yaitu botol-botol minuman antik dan muatan keramik lainnya. Padahal, keberadaan kapal karam dan muatannya ini membuktikan bahwa Natuna berada pada jalur pelayaran internasional sejak dahulu. Fakta tersebut sangatlah penting bagi penulisan sejarah atau historiografi wilayah kepulauan Natuna sebagai salah satu kepulauan terdepan NKRI. Secara tidak langsung, merupakan kontribusi hasil riset terhadap upaya pertahanan keamanan dan perlindungan pulau-pulau terluar NKRI.

Pada tahun 2015 hingga 2017 penelitian kembali dilakukan di Perairan Natuna yang mencakup hingga pulau Laut sebagai Pulau terdempannya dan Pulau Serasan. Penelitian kembali dilakukan di Perairan Tanjung Senubing untuk melihat kembali kondisi situs dan lingkungan perairannya, dilanjutkan

pada lokasi situs di Teluk Buton, Pulau Buton, Kelarik, dan Kapal Setass. Pada kawasan konservasi laut daerah untuk perlindungan terumbu karangnya terdapat satu situs kapal tenggelam milik Bung Karno yang masih memiliki kondisi dan struktur yang baik. Penelitian juga dilanjutkan di Perairan Pulau Laut yang mengidentifikasi tiga situs kapal dari masa Dinasti Qing yang membawa keramik dan muatan teh dari Cina dan dua kapal modern yang tetap memiliki nilai sejarah baik secara lokal; maupun nasional. Penelitian di Perairan Pulau Serasan di Selatan Natuna juga dilakukan dengan mendapatkan tujuh lokasi situs dengan berbagai masalah pengembangannya untuk pemanfaatan dan perlindungannya secara *in situ*. Metode Analisis *Site Significance Assessment* (SSS) untuk pengembangan situs arkeologi maritim sebagai destinasi wisata bahari, telah mulai dilakukan, termasuk di tahun-tahun selanjutnya, di Perairan Belitung Timur yang juga telah dimulai tahun 2016 hingga 2018.

Pada Perairan Belitung Timur, telah diidentifikasi pada tahun 2016 antara lain Situs Memperak, Situs Pekandis, Situs Kran, dan Situs Berlian, serta 2 situs yang teridentifikasi pada tahun 2018, yaitu Situs Pulau Long dan Situs Telaga Pahat, serta juga satu situs yang dilanjutkan identifikasinya pada tahun 2018, yaitu Situs Berlian. Dari keenam lokasi tersebut, telah teridentifikasi 2 lokasi situs yang dapat di rekomendasikan pengelolaan situs arkeologi maritim secara *in situ* dan berkelanjutan melalui metode SSA, yaitu Situs Berlian dan Situs Long Pulau Long yang sangat ideal untuk dikembangkan sebagai Taman arkeologi Laut (*Marine Eco Archaeological Park*) (Troa *et al.*, 2018)

BAB III

Kebencanaan Laut dan Pesisir

Dini Purbani

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Triyono

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Tubagus Solihuddin

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Sitasi:

Purbani D., Triyono & Solihuddin T. 2019. Kebencanaan Laut dan Pesisir, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Kebencanaan Laut dan Pesisir

Kepulauan Indonesia terletak di antara dua benua dan dua samudra, dan terbentuk sebagai hasil interaksi tiga lempeng kerak bumi utama. Konsekuensi dari konfigurasi lingkungan yang demikian adalah bahwa kondisi meteorologi dan oseanografi di Kepulauan Indonesia sangat dipengaruhi kedua benua, kedua samudra maupun konfigurasi lempeng kerak bumi di kawasan itu. Proses-proses geologi dan bencana geologi yang berlangsung di kawasan tersebut sangat ditentukan oleh kondisi meteorologi, oseanografi dan pola interaksi lempeng kerak bumi di sekitarnya. Hasil analisis terhadap konfigurasi lingkungan di kawasan Kepulauan Indonesia dan sekitarnya menunjukkan bahwa bencana geologi yang dapat terjadi di daerah pesisir dan pulau-pulau yang ada di Kepulauan Indonesia adalah gempa bumi, tsunami, gelombang badai, banjir luapan sungai, banjir pasang surut, erosi, sedimentasi dan penurunan tanah. Karakter dari setiap bencana tersebut sangat ditentukan oleh karakter dari pemicunya, yaitu memiliki tempat kejadian tertentu, waktu kejadian tertentu, maupun muncul dengan gejala awal yang tertentu pula.

Berbagai proses geologi yang disebabkan oleh energi dari dalam bumi bekerja di sekitar kita, sehingga memberikan dampak terbentuknya berbagai kenampakan bentangalam (*landscape*) Ada kalanya, proses-proses yang

bekerja itu bersentuhan dengan manusia dan dapat menyebabkan kerusakan harta benda dan bahkan kematian. Proses-proses alam yang dapat menimbulkan kerugian pada manusia itu selanjutnya disebut sebagai bencana alam geologi. Adapun arti dari bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor (Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, Bab 1, Pasal 1).

Bila kita memperhatikan lokasi tempat proses-proses geologi berlangsung, maka akan tampak bahwa proses-proses geologi dapat terjadi di semua tempat di permukaan bumi. Oleh karena itu, bencana geologi dapat juga terjadi di berbagai tempat di permukaan bumi. Meskipun demikian, macam-macam proses geologi atau bencana geologi yang terjadi di suatu lingkungan sangat ditentukan oleh kondisi geologi dan geomorfologi yang ada di lingkungan tersebut. Sebagai contoh, macam-macam bencana geologi yang dapat terjadi di daerah pegunungan tentu berbeda dengan macam-macam bencana geologi yang dapat terjadi di daerah pesisir.

Indonesia adalah negara kepulauan. Konsekuensinya adalah bahwa wilayah pesisir merupakan kawasan yang dominan terdapat di Indonesia. Selanjutnya, adalah suatu kenyataan bahwa banyak penduduk Indonesia tinggal di kawasan pesisir dan berhubungan dengan laut. Kondisi tersebut dapat dilihat dari banyaknya kota-kota besar di Indonesia yang terletak di kawasan pesisir. Oleh karena itu, mengetahui macam-macam bencana geologi yang dapat terjadi di kawasan pesisir dan memahami karakteristiknya merupakan hal yang penting dalam rangka upaya mitigasi bencana tersebut. Tulisan ini memberikan gambaran tentang macam-macam bencana geologi yang mungkin terjadi di daerah laut dan pesisir Kepulauan Indonesia.

Proses geologi adalah semua aktivitas yang terjadi di bumi baik yang berasal dari dalam bumi (endogen) maupun yang berasal dari luar bumi (eksogen). Gaya endogen adalah gaya yang berasal dari dalam bumi seperti aktivitas tektonik, magmatis dan volkanisme, sedangkan gaya eksogen adalah gaya yang bekerja di permukaan bumi seperti pelapukan, erosi serta sedimentasi. Gaya endogen maupun eksogen merupakan gaya-gaya yang memberi andil terhadap perubahan bentuk bentangalam (*landscape*) yang ada di permukaan bumi.

Berbagai macam bencana geologi dapat terjadi di daerah pesisir, mulai dari yang sangat spektakuler seperti tsunami sampai yang sangat tenang dan berlangsung sangat pelan seperti penurunan tanah. Dari sudut pandang penyebabnya, bencana geologi di daerah pesisir dapat terjadi secara alamiah murni, maupun terjadi dengan campur tangan manusia. Tabel 8 merangkum berbagai karakteristik dari berbagai bencana geologi yang dapat terjadi di daerah pesisir dengan penekanan di Indonesia.

Tabel 8.
Macam-macam bencana dan karakter umumnya

Macam Bencana	Pencetus Utama	Karakter Kedatangan	Prediktibilitas	Durasi
Tsunami	Gempa, longsor dasar laut, letusan gunungapi	Cepat dan tiba-tiba ketidakpastian tinggi, bisa diawali gempa atau letusan gunungapi bawah laut	Tidak bisa	Menit
Gelombang Badai	Angin badai	Cepat diawali tiupan angin, periodik mengikuti musim angin	Bisa	Jam
Banjir Luapan Sungai	Curah hujan tinggi	Perlahan diawali hujan, periodik mengikuti musim hujan, dapat dipengaruhi aktifitas manusia	Bisa	Hari
Banjir Pasang Surut	Pasang surut	Perlahan, periodic, mengikuti pola pasang surut, berkaitan dengan subsiden	Bisa	Jam
Erosi Pantai	Gelombang laut	Perlahan, terus menerus, dapat dipengaruhi aktifitas manusia	Bisa	Tahun
Sedimentasi	Suplai muatan sedimen yang tinggi	Perlahan, terus menerus, dapat dipengaruhi aktifitas manusia	Bisa	Tahun
Subsiden	Kompaksi, beban	Perlahan, terus menerus, dapat dipengaruhi aktifitas manusia	Bisa	Tahun

Sumber: Setyawan, 2007

3.1 Jenis Bencana Pesisir

3.1.1 Tsunami

Tsunami adalah fenomena gelombang raksasa yang melanda ke daratan. Fenomena ini dapat terjadi karena gempa bumi atau gangguan berskala besar di dasar laut, seperti longsoran bawah laut atau erupsi letusan gunung api di bawah laut (Skinner dan Porter, 2000). Tsunami berasal dari bahasa Jepang, *Tsu* yang berarti pelabuhan dan *Nami* yang berarti gelombang. Secara harfiah,

tsunami mempunyai arti ombak besar di pelabuhan. Secara ilmiah, yang dimaksud tsunami adalah perpindahan badan air yang disebabkan oleh perubahan permukaan laut secara vertikal yang berlangsung dengan tiba-tiba. Mengapa nama bencana ini adalah tsunami yang diambil dari bahasa Jepang?. Mungkin karena negara Jepang merupakan negara yang sangat rawan dengan adanya gempa, sehingga terjadinya gelombang besar yang merupakan akibat dari gempa biasa terjadi.

Gelombang tsunami dapat merambat dengan cepat (dapat mencapai kecepatan 950 km/jam), panjang gelombangnya sangat panjang (dapat mencapai panjang 250 km). Di samudra, tinggi gelombang tsunami cukup rendah sehingga sulit diamati, dan ketika mencapai perairan dangkal ketinggiannya dapat mencapai 30 m. Sebaliknya, semakin mendekati ekosistem pantai, kecepatan gelombang ini semakin menurun, hanya sekitar 35 hingga 50 kilometer per jam. Namun, tingginya gelombang akan semakin naik, hingga mencapai 20 meter. Dengan ketinggian yang sedemikian ini, maka gelombang tsunami dapat masuk ke daratan hingga jarak puluhan kilometer. Inilah sekilas gambaran umum mengenai gelombang tsunami.

Sifat kedatangan gelombang tsunami sangat mendadak dan tidak adanya sistem peringatan dini merupakan penyebab dari banyaknya korban jiwa yang jatuh ketika gelombang tsunami melanda ke daratan pesisir yang banyak penduduknya. Contoh yang paling mutakhir peristiwa bencana ini adalah ketika tsunami melanda pesisir barat dan utara Pulau Sumatra di Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam pada tanggal 26 Desember 2004. Bahkan tidak hanya wilayah Aceh saja, namun juga beberapa negara tetangga. Sejak saat itulah masyarakat Indonesia semakin familiar dengan yang namanya tsunami. Bahkan kata tsunami terlalu akrab hinggap di telinga sehingga menyebabkan trauma dan kesedihan mendalam. Pada kesempatan kali ini kita akan membicarakan lebih lanjut mengenai bencana tsunami supaya kita mengenal lebih dalam tentang tsunami. Selain mengenal mengenai tsunami, kita juga bisa mempelajari mengenai tanda-tanda terjadinya tsunami dan apa saja langkah yang bisa kita lakukan.

Faktor-faktor Penyebab Tsunami

a. Gempa bumi bawah laut

Gempa bumi merupakan hal yang paling umum yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami. Gempa bumi yang dimaksud tentu adalah gempa bumi bawah laut. Gempa bumi jenis ini menimbulkan banyak getaran yang akan mendorong timbulnya gelombang tsunami. Gempa bumi bawah laut juga merupakan penyebab 90 persen terjadinya tsunami di dunia. Gempa bumi yang terjadi dibawah laut ini merupakan jenis gempa bumi tektonik yang timbul akibat adanya pertemuan atau tubrukan lempeng tektonik. Meski gempa bumi bawah laut merupakan

penyebab utama terjadinya tsunami, namun tidak berarti bahwa semua gempa bumi bawah laut dapat menimbulkan tsunami. Gempa bumi bawah laut akan menimbulkan tsunami apabila memenuhi beberapa syarat antara lain adalah sebagai berikut:

- **Pusat gempa terletak di kedalaman 0 hingga 30 kilometer dibawah permukaan air laut**

Gempa bumi bawah laut yang berpotensi menimbulkan tsunami adalah apabila pusat gempa berada di kedalaman antara 0 hingga 30 kilometer dibawah permukaan air laut. Semakin dangkal pusat gempa, maka akan semakin besar kesempatan untuk terjadi tsunami. Dengan kata lain semakin dangkal pusat gempa bumi, maka peluang terjadinya tsunami juga semakin besar. Hal ini karena getaran yang dirasakan juga semakin besar dan semakin kuat, sehingga peluang terjadinya tsunami pun juga semakin kuat.

- **Gempa yang terjadi berskala di atas 6,5 Skala Richter**

Kriteria selanjutnya adalah gempa bumi yang terjadi harus mempunyai kekuatan di atas 6,5 Skala Richter. Jadi misalnya ada gempa dangkal, namun gempanya kecil, hal itu kemungkinan tidak akan memberikan peluang terjadinya tsunami. Gempa yang terjadi dengan kekuatan minimal 6,5 Skala Richter dianggap sudah mampu untuk mempengaruhi gelombang air laut, yang pada akhirnya akan menyebabkan terjadinya tsunami. Pengalaman bencana yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 silam, gempa yang terjadi memiliki kekuatan sekitar 9 Skala Richter. Untuk mengetahui besar gempa digunakan alat pengukur getaran gempa bumi.

- **Jenis patahan sesar gempa adalah naik atau turun**

Kriteria lainnya yang juga mendukung terjadinya gelombang tsunami adalah mengenai jenis patahan sesar. Terjadinya patahan akibat Persesaran gempa yang dapat menimbulkan gelombang tsunami adalah jenis patahan naik atau turun. Adanya patahan naik atau turun ini akan dapat menimbulkan gelombang baru yang mana jika bergerak ke daratan, maka bisa menghasilkan tsunami. Hal ini akan diperparah apabila terjadi patahan di dasar laut, sehingga akan menyebabkan air laut turun secara mendadak karena terjadi dislokasi yang dapat memicu dan menjadi cikal bakal terjadinya tsunami.

b. Letusan gunung berapi bawah laut

Penyebab terjadinya tsunami yang selanjutnya adalah terjadinya letusan gunung api yang ada di bawah laut. Lautan yang memenuhi dua per tiga dari permukaan bumi ini menyimpan banyak sekali rahasia. Kita tidak

tahu banyak mengenai rupa penampakan di bawah laut, bahwa sebenarnya tidak hanya daratan saja yang mempunyai gunung aktif, namun juga bawah laut mempunyai banyak gunung aktif. Beberapa gunung aktif yang ada di bawah laut bisa berpotensi meledak atau erupsi sewaktu-waktu (baca: ciri-ciri gunung api meletus). Akibat adanya letusan yang besar atau kuat dari gunung berapi bawah laut ini, maka menyebabkan terjadinya tsunami.

Salah satu peristiwa akbar yang menggambarkan kejadian tsunami diakibatkan oleh letusan gunung berapi ada di Indonesia, adalah letusan Gunung Krakatau pada tahun 1883. Gunung ini Peristiwa ini menimbulkan gelombang tsunami yang dahsyat sehingga menyapu bersih area di sekitar Selat Sunda. Selain peristiwa gunung Krakatau, di Indonesia juga terjadi letusan gunung Tambora pada tahun 1815 yang berada di Nusa Tenggara Timur hingga mengakibatkan terbentuknya kepulauan Maluku.

c. Terjadinya longsor bawah laut

Penyebab gelombang tsunami selanjutnya adalah terjadinya longsor di bawah laut. Tsunami karena adanya longsor di bawah laut dinamakan *Tsunami Submarine Landslide*. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bentuk permukaan bawah laut menyerupai daratan. Jika di daratan kita menemukan bukit dan jurang, maka di dalam lautan pun juga demikian, sehingga ada potensi terjadi longsor. Longsor bawah laut ini pada umumnya disebabkan oleh adanya gempa bumi tektonik atau letusan gunung bawah laut. Getaran kuat yang ditimbulkan oleh longsor inilah yang bisa menyebabkan terjadinya tsunami. Selain gempa bumi tektonik dan letusan gunung berapi, tabrakan lempeng yang ada di bawah laut juga bisa menyebabkan terjadinya longsor. Pada tahun 2008 dilakukan penelitian oleh BPPT Baruna Jaya di Samudra Hindia yang menyebutkan adanya palung laut yang membentang dari pulau Siberut hingga ke pesisir Pantai Bengkulu yang mana apabila palung tersebut longsor maka akan terjadi tsunami di pantai barat Sumatra.

d. Adanya hantaman meteor

Penyebab selanjutnya dari terjadinya tsunami adalah adanya hantaman meteor atau benda langit yang berukuran besar. Meskipun jarang sekali terjadi, dan bahkan belum ada dokumentasi yang menyebutkan adanya tsunami akibat hantaman meteor, namun hal ini bisa saja terjadi. Seperti yang disimulasikan oleh komputer canggih, bahwa apabila ada meteor besar (karena meteor kecil biasanya akan habis terbakar di atmosfer bumi) misalnya berdiameter lebih dari 1 kilometer saja, maka dapat menimbulkan bencana alam yang dasyat. Mega tsunami yang ditimbulkan memiliki ketinggian hingga ratusan meter.

Tsunami yang terjadi karena gempa bumi atau longsor di bawah laut kejadiannya berkaitan erat dengan sistem interaksi lempeng kerak bumi yang membentuk sistem penunjaman dan palung laut dalam. Sementara itu, tsunami yang terjadi karena erupsi letusan gunung api kejadiannya berkaitan erat dengan kehadiran gunung api bawah laut, baik yang muncul di permukaan laut maupun yang tidak muncul di permukaan laut. Dengan demikian, potensi suatu kawasan pesisir untuk dilanda tsunami dapat diperhitungkan dari keberadaan sistem penunjaman lempeng yang membentuk palung laut dalam, dan keberadaan gunung api bawah laut. Meskipun demikian, kita tidak dapat melakukan prediksi tentang kapan terjadinya tsunami karena kita tidak dapat melakukan prediksi tentang kapan terjadinya gempa bumi, longsor bawah laut atau letusan gunung api bawah laut yang dapat membangkitkan tsunami.

Jenis-jenis Tsunami

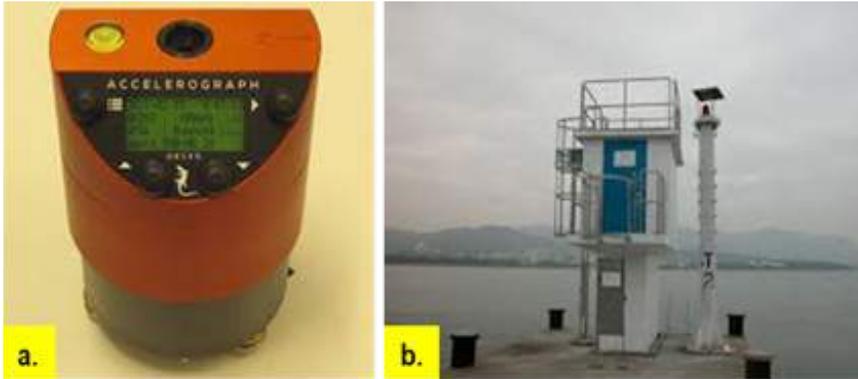
Untuk dapat menyadari kemungkinan terjadi bencana tsunami, kita perlu mengetahui jenis tsunami yang ada dengan memperhatikan tanda-tandanya, seperti gempa dengan kekuatan yang cukup besar, berkisar 7-9 Skala Richter. Lihat pula kondisi air laut, apabila tiba-tiba saja surut setelah gempa terjadi, maka kita wajib waspada karena bisa saja aliran energi laut tengah terjadi dengan menarik air masuk sebelum memuntahkannya kembali dengan kekuatan yang lebih besar. Selain itu, kita perlu memperhatikan tanda-tanda alam yang tidak biasa, seperti gerakan angin, adanya suara gemuruh dari arah laut, bahkan perilaku hewan liar.

Sering kali tsunami disalah artikan dengan fenomena gelombang air pasang. Hal itu disebabkan karena air yang ketika mencapai daratan nampak seperti gelombang air pasang yang tinggi, daripada ombak biasa. Sesuai dengan waktu terjadinya, berikut jenis-jenis tsunami.

❖ Tsunami jarak dekat

Disebut jarak dekat atau lokal karena jeda sejak terjadi gempa hingga menimbulkan tsunami terjadi setelah 0-30 menit. Jarak dari pusat gempa menuju lokasi tsunami sejauh 200 kilometer. Daerah di sekitar gempa mungkin merasakan getaran yang amat hebat hingga menimbulkan kerusakan pada bangunan. Tanda-tanda sebelum terjadi tsunami adalah terasanya getaran yang hebat disertai dengan pasang-surut air laut. Adapun alat pendeteksi gempa bumi yaitu (Gambar 38):

- a. *Accelerograph*, biasa disebut juga *strong motion seismograph*. Alat ini dipasang hanya untuk mendeteksi getaran kuat saja, dilengkapi dengan alarm dan sistem komunikasi untuk menyebar berita, kontrol operasional, dan perawatan jarak jauh.
- b. *Tide gauge*, yakni alat untuk mengukur perubahan muka laut, yang disebabkan oleh pasang dan surut harian muka laut yang disebabkan



Gambar 38.
Alat pendeteksi tsunami
(a. Accelerograph dan b. Tide gauge)
(Photo credit:
<https://www.kabarnagari.com/2018/10/alat-pendeteksi-tsunami-di-sumber-berfungsi-dengan-baik.html>)

oleh gaya tarik bulan dan matahari (normal), angin, atau tsunami. Informasi yang dibutuhkan untuk peringatan dini (*early warning*) adalah pasang surut saat sebelum terjadinya tsunami di lokasi bersangkutan, kemudian pasang naik mengakibatkan tsunami menjadi informasi untuk lokasi yang lebih jauh.

Kedua alat tersebut dipasang di tempat yang sama pada sebuah *shelter* di area pantai yang dilengkapi dengan alarm penanda bahaya. Peringatan pertama berasal dari *accelerograph*, kemudian disusul dengan peringatan dari *tide gauge* apabila terjadi perubahan muka air laut. Peringatan tersebut disampaikan kepada warga sekitar berupa alarm, petugas atau aparat setempat untuk memulai proses evakuasi, dan BMKG pusat untuk monitoring dan informasi darurat agar disebarakan ke daerah berpotensi lainnya.

❖ Tsunami jarak menengah

Dikatakan jarak menengah, karena jeda waktu dari setelah terjadi gempa hingga tsunami adalah 30 menit hingga 2 jam. Jarak dari pusat gempa hingga ke lokasi berkisar antara 200-1.000 kilometer, yang mungkin saja masih merasakan gempa dengan intensitas II hingga V MMI (*Modified Mercalli Intensity*). Tanda sebelum terjadi tsunami adalah getaran kuat dan sering diikuti oleh laut surut. Peralatan tanda bahaya juga dilengkapi alarm untuk memberi peringatan tanda bahaya, namun mungkin *accelerograph* tidak cukup berpengaruh karena getarannya lemah.

❖ Tsunami jarak jauh

Disebut dengan jarak jauh, karena jeda waktu dari setelah terjadi gempa hingga tsunami bisa lebih dari dua jam. Jarak lokasi dari titik gempa melebihi 1.000 kilometer, karena itulah warga setempat tidak akan merasakan gempa. Pasang surut air laut masih mungkin terjadi sebelum gelombang tsunami datang. Pada daerah ini tidak diperlukan *accelerograph*.

Dalam sejarah modern, di Indonesia pernah terjadi tsunami karena erupsi letusan gunung api, yaitu ketika Gunung Krakatau di Selat Sunda meletus pada tahun 1883. Sementara itu, tsunami yang terjadi karena longsoran bawah laut pernah terjadi pada tahun 1998 di sebelah utara Papua New Guinea (Synolakis dan Okal, 2002; Monastersky, 1999).

Dari uraian tentang tsunami dan berbagai pencetusnya itu, maka kita dapat menentukan kawasan-kawasan pesisir yang potensial untuk terjadi tsunami, yaitu dengan memperhitungkan posisi kawasan-kawasan pesisir terhadap keberadaan sistem penunjaman dan palung laut dalam, serta kehadiran gunung api bawah laut, meskipun kita tidak dapat menentukan kapan tsunami akan terjadi.

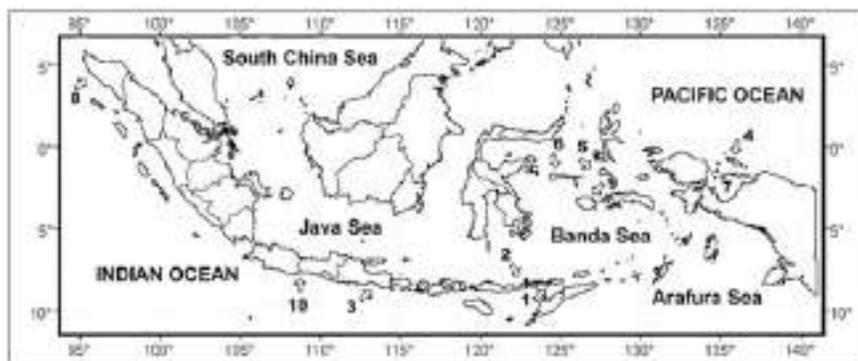
Kepulauan Indonesia dengan posisi geografis yang diapit oleh dua samudra (Samudra Pasifik dan Hindia), serta posisi tektonik yang terletak di kawasan interaksi tiga lempeng kerak bumi utama (Lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik), dan kehadiran gunung api bawah laut membuatnya menjadi sangat potensial untuk terkena bencana tsunami. Gambaran tentang kejadian tsunami di Indonesia dalam dua dekade terakhir dapat dilihat di dalam Tabel 9 dan Gambar 39. Secara garis besar dapat dikatakan bahwa kawasan-kawasan pesisir Indonesia yang sangat berpotensi terkena tsunami adalah:

1. Kawasan pesisir dari pulau-pulau yang menghadap ke Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Potensi sumber kejadian tsunami yang utama di kawasan tersebut adalah sistem penunjaman yang berada di sepanjang kawasan pesisir itu.
2. Kawasan pesisir dari pulau-pulau di kawasan Laut Banda. Di kawasan ini, tsunami dapat berasal dari kawasan Busur Banda maupun berasal dari Samudra Pasifik atau Samudra Hindia yang masuk ke kawasan itu.
3. Kawasan pesisir pulau-pulau yang berhadapan dengan gunung api bawah laut, seperti kawasan pesisir di kedua sisi Selat Sunda yang mengelilingi Gunung Krakatau.

No	Lokasi	Tahun	Korban Meninggal
1	Flores	1961	Tidak tercatat
2	Sumatera	1964	110 orang
3	Seram-Maluku	1965	71 orang
4	Tinabung-Sulawesi	1965	58 orang
5	Tambu-Sulawesi	1968	200 orang
6	Majene-Sulawesi	1969	64 orang
7	Sumba	1977	189 orang
8	NTT, Flores, Pulau Atauro	1977	Tidak tercatat
9	NTB, Bali, Lombok, Sumba	1979	27 orang
10	Larantuka	1982	13 orang
11	NTT, Flores Timur	1987	Tidak tercatat
12	NTT, Pulau Alor	1989	7 orang
13	Flores	1992	2100 orang
14	Banyuwangi	1994	208 orang
15	Palu, Sulawesi Tengah	1996	68 orang
16	Biak, Papua	1996	160 orang
17	Taliabu, Maluku	1998	34 orang
18	Banggai, Sulawesi Tengah	2000	4 orang
19	Aceh	2004	250.000 orang
20	Nias	2005	Tidak tercatat
21	Pangandaran	2006	668 orang
22	Bengkulu	2007	Tidak ada
23	Mentawai	2010	413 orang
24	Palu, Sulawesi Tengah	2018	2079 orang
25	Banten	2018	281 orang

Tabel 9.
Kejadian tsunami di Indonesia dalam periode 1964 hingga 2018

(Sumber: Amri et al., 2016)

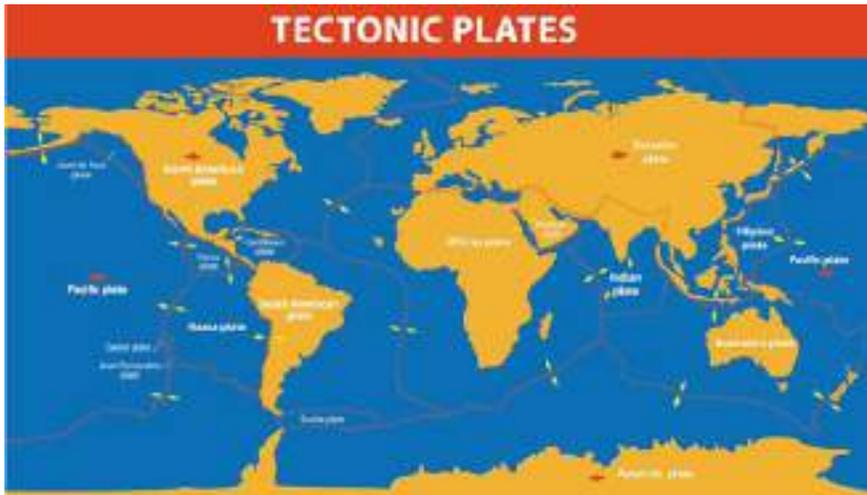


Gambar 39.
Penyebaran peristiwa tsunami di Indonesia periode 1990-2006 (Setyawan, 2007)

3.1.2 Gempa bumi

Gempa bumi disebabkan karena tumbukan dua lempeng bumi. Daerah tempat lempeng bertemu disebut batas lempeng. Batas lempeng terbagi menjadi tiga (3) yaitu: batas lempeng divergen, batas lempeng konvergen dan batas lempeng transform (Kious *et al.*, 2001). Batas lempeng divergen (*divergent boundary*) atau zona pertambahan ataupun lempeng bergerak saling menjauh satu sama lainnya (Gambar 40). Batas lempeng divergen ditunjukkan sebagai sistem punggung tengah samudra (*mid-ocean ridge system*) sepanjang sumbu di daerah material lempeng baru dihasilkan.

Gambar 40.
Batas lempeng
divergen
(Photo credit:
shutterstock.
com)



Batas lempeng konvergen di sepanjang batas konvergen (*convergent*) lempeng relatif saling mendekat. Dalam zona ini terjadi penujaman (*subduction*) salah satu lempeng (lempeng benua atau lempeng samudra) menujam ke dalam mantel dan mengalami peleburan akibat suhu yang tinggi. Lempeng yang menghujam biasanya mencapai kedalaman 700 m. Contoh wilayah zona konvergen sepanjang pantai barat Pulau Sumatra, pantai selatan Pulau Jawa, NTB, NTT atau yang berada di perairan Samudra Hindia.

Batas lempeng konservatif atau batas geser (*shear boundary*) atau batas transform (*transform boundary*). Pada batas ini lempeng bergerak secara lateral (relatif mendatar) satu sama lainnya. Pada batas lempeng seperti ini ditunjukkan dengan adanya patahan transform. Jenis patahan transform dijumpai adalah patahan punggung laut (*ridge fault*) yang dapat mencapai panjang ratusan kilometer. Contoh patahan San Andreas, California, yang memisahkan lempeng Amerika Utara dan Pasifik.

Gempa bumi disebabkan oleh pergerakan lempeng konvergen di mana lempeng samudra menujam di bawah lempeng benua, akibat dari



Gambar 41
Batas lempeng konvergen
(Photo credit: Najoan *et al.*, 1996)

tumbukan antar lempeng (Gambar 41). Penujahan lempeng disebut subduksi. Salah satu ciri utama dari zona benturan antar lempeng adalah tingkat kegempaan yang tinggi. Dengan demikian gempa bumi adalah serangkaian proses pembentukan dan penyimpanan energi yang terjadi akibat benturan antar lempeng. Pada dasarnya energi yang tersimpan dalam lempeng-lempeng kulit bumi ini akan terlepas bila telah melampaui batas *plastisitas* tegangan (Suparka, 1994).

3.1.3 Gelombang Badai

Gelombang badai adalah sebutan untuk fenomena gelombang laut yang terjadi karena tiupan angin badai yang melanda daratan dengan ukuran di atas ukuran gelombang normal. Di Indonesia, secara umum masyarakat menyebut fenomena gelombang ini dengan 'Gelombang Pasang'. Gelombang badai dapat menyebabkan air laut naik ke daratan hingga mencapai jarak 200 meter ke dalam daratan dari tepi pantai. Berbeda dengan tsunami yang terjadi karena gempa, longsoran bawah laut atau letusan gunung api bawah laut, fenomena gelombang badai ini terjadi menyusul terjadinya badai atau tiupan angin yang sangat kencang di lautan (fenomena meteorologi), tinggi gelombangnya dapat mencapai belasan meter di daerah dekat sumber angin, dan gelombang terus berlangsung selama angin bertiup dan reda bersama dengan redanya tiupan angin. Berkaitan dengan mekanisme pencetusannya, fenomena gelombang badai ini hanya terjadi pada waktu-waktu tertentu yang berkaitan dengan musim angin tertentu, dan hanya melanda lokasi-lokasi tertentu pula.

Penyebab terjadinya badai

Badai yang kita kenal dengan angin yang kekuatannya sangat besar terjadi karena berbagai macam hal atau sebab. Berikut ini merupakan beberapa sebab terjadinya badai.

a. Tingginya suhu permukaan air laut

Penyebab terjadinya badai yang paling umum adalah tingginya suhu pada permukaan air laut. Permukaan laut yang memiliki suhu yang tinggi akan kontras dengan suhu yang ada di bawah permukaan laut atau suhu di dalam air. Hal inilah yang akan memicu terjadinya badai. Seperti pada kasus penyebab terjadinya angin topan.

b. Perubahan yang terjadi di atmosfer bumi

Sebenarnya peristiwa terjadinya perubahan di atmosfer bumi ini merupakan lanjutan dari tingginya suhu permukaan air laut. Suhu permukaan air laut yang tinggi ini dapat mengakibatkan perubahan yang terjadi di lapisan atmosfer bumi. Lalu, perubahan di atmosfer bumi ini menghasilkan energi yang di antaranya adalah kemunculan petir dan juga badai. Ketika terjadi gejala badai ditandai dengan munculnya angin besar yang mempunyai kekuatan sangat kencang, yakni mencapai 250 km/jam.

Apabila kita telaah lebih jauh, badai lebih sering terjadi di lautan daripada di daratan (baca: ekosistem darat). Hal ini memang benar adanya karena badai disebabkan oleh adanya suhu udara yang tinggi yang dimiliki oleh permukaan air laut. Selain penyebab terjadinya badai, agaknya kita juga perlu mempelajari mengenai proses terjadinya badai supaya kita lebih mengetahui lebih dalam mengenai badai ini.

Proses terjadinya badai

Mungkin dari kita sudah sering kali mendengar atau sudah familiar mengenai proses terjadinya awan, proses terjadinya pelangi, atau proses terjadinya hujan. Namun akan lebih unik dan kaya ilmu apabila kita juga mempelajari mengenai proses terjadinya beberapa peristiwa badai ini. Badai dapat terbentuk menjadi badai yang besar ketika melewati beberapa tahapan terjadinya badai, yakni sebagai berikut:

a. Kondensasi udara lembab

Terjadinya badai diawali oleh kondensasi udara. Sumber utama yang menjadi energi raksasa penggerak badai ini berasal dari kondensasi udara, yakni mengembunnya kandungan uap air yang terjadi pada udara lembab yang mana akan bergerak ke atas atau ke ketinggian atmosfer yang sifatnya lebih dingin daripada di permukaan bumi. Pada proses kondensasi ini uap air akan melepas panas yang dikandungnya.

b. Munculnya energi penggerak badai di atmosfer

Energi panas yang dilepaskan oleh uap air akan terkumpul menjadi energi penggerak dari badai tropis. Proses ini terjadi di atmosfer bumi. Selain udara yang lembab, unsur-unsur lain juga sangat mempengaruhi munculnya energi penggerak badai ini, seperti lautan yang hangat, adanya gangguan cuaca, angin yang bergerak naik membawa udara yang lembab.

c. Terjadinya angin kencang

Apabila unsur-unsur tersebut berlangsung cukup lama, maka hal ini akan membentuk terjadinya angin kencang, gelombang laut yang tinggi, hujan deras, serta banjir yang mengikuti peristiwa badai ini. Itulah beberapa tahapan atau proses tentang terjadinya badai atau angin siklon yang umumnya terjadi di daerah iklim tropis. Namun hingga saat ini, mengenai proses terjadinya badai masing dikaji oleh para ahli sehingga belum mencapai hasil final mengenai proses terjadinya badai ini.

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya badai

Proses terjadinya badai yang berangkai juga dipengaruhi oleh beberapa hal yang akan mempengaruhinya. Beberapa hal atau faktor yang mempengaruhi terjadinya badai antara lain adalah sebagai berikut:

a. Suhu air laut yang tinggi

Faktor pertama yang mempengaruhi proses terjadinya badai adalah adanya suhu air laut yang tinggi. Suhu air laut hingga kedalaman 50 meter lebih dari 26,5° Celcius. Perairan yang hangat merupakan sumber energi dari badai itu sendiri. Hal ini mengakibatkan apabila badai bergerak ke daratan atau ke perairan dingin maka kekuatan badai tersebut akan melemah secara drastis.

b. Suhu atmosfer yang menurun drastis

Suhu yang ada pada atmosfer akan turun drastis seiring dengan meningkatnya ketinggian. Penurunan suhu atmosfer secara drastis ini tidak memungkinkan terjadinya perpindahan kelembaban udara secara konveksi. Adanya kativitas badai petir akan mendorong uap air melepaskan kandungan panasnya.

c. Kelembaban udara yang tinggi pada atmosfer

Kelembaban udara yang tinggi pada atmosfer diakibatkan oleh menurunnya suhu atmosfer. Kelembaban udara yang tinggi pada atmosfer ini juga akan berpengaruh pada proses terjadinya badai.

d. Jarak minimum 500 km dari khatulistiwa

Proses terjadinya badai ini berlangsung di daerah sekitaran garis lintang nol° t atau garis khatulistiwa, namun tidak terlampaui dekat. Proses terjadinya badai akan berlangsung pada jarak minimum 500 km dari garis khatulistiwa.

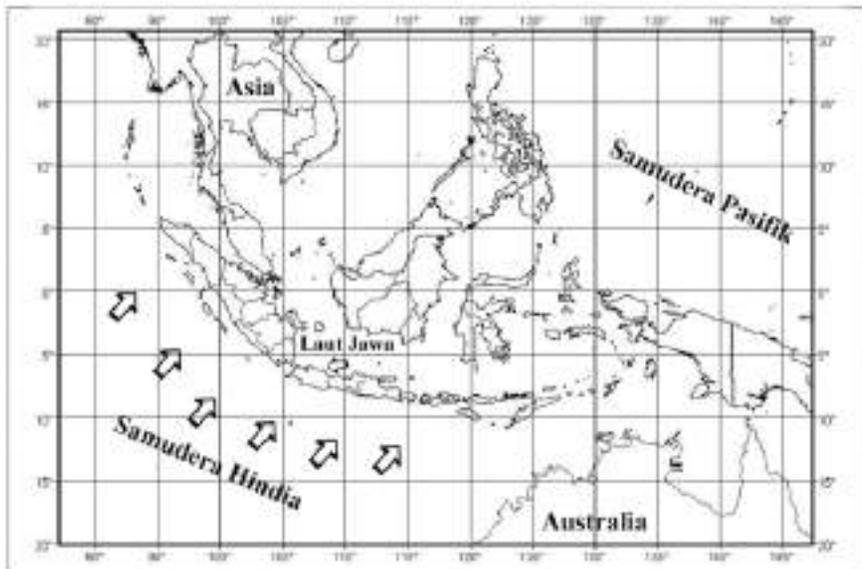
e. Angin bergerak naik vertikal secara perlahan

Angin yang bergerak naik secara vertikal dengan kecepatan yang lambat, yakni kurang dari 10 m/detik akan mempengaruhi terjadinya badai. Selain itu angin yang bergerak selambat ini tidak akan merusak proses pembentukan formasi bada badai, khususnya badai siklon tropis.

Adanya kondisi tersebut di atas akan mempengaruhi berhasil atau tidaknya badai akan terbentuk. Badai ini ternyata tidak hanya terjadi di tengah lautan dan pada wilayah yang tropis juga. Peristiwa gelombang badai yang terbaru terjadi di Indonesia terjadi pada pertengahan bulan Mei 2007 yang melanda kawasan pesisir Pulau Sumatra, Jawa, Bali dan pulau-pulau Nusa Tenggara Barat dan Timur, yang menghadap ke Samudra Hindia, dan gelombang badai yang melanda kawasan pesisir utara Pulau Jawa di daerah Indramayu–Cirebon (Gambar 42).

Pada Gambar 42 terlihat bahwa terdapat dua tatanan lingkungan pesisir yang berbeda yang dilanda oleh gelombang badai. Pertama, kawasan pesisir yang menghadap ke Samudra Hindia, mulai dari Sumatra sampai Nusa Tenggara Timur. Kedua, kawasan pesisir yang berada di “lingkungan dalam” (Laut Jawa) perairan Kepulauan Indonesia yaitu wilayah pesisir Indramayu–Cirebon, yang menghadap ke arah timur. Hal itu menunjukkan bahwa kedua peristiwa gelombang badai itu terjadi secara terpisah dengan dua pencetus yang berbeda.

Gambar 42
Gelombang badai yang melanda Kepulauan Indonesia pada bulan Mei 2007. Tanda Panah Besar (di Samudra Hindia) menunjukkan arah datang gelombang badai dari Samudra Hindia, dan Tanda Panah Kecil (di Laut Jawa) menunjukkan gelombang badai yang melanda wilayah pesisir Cirebon-Indramayu (Photo credit: Setyawan, 2007)



Dari dua peristiwa fenomena gelombang badai tersebut dapat disimpulkan bahwa:

- ❖ Kawasan pesisir dari Pulau Sumatra, Jawa, Bali dan pulau-pulau Nusa Tenggara yang menghadap ke Samudra Hindia merupakan kawasan pesisir yang berpotensi untuk terkena gelombang badai yang datang dari Samudra Hindia. Hal ini berkaitan dengan kemungkinan terjadinya angin siklon di Samudra Hindia. Memperhatikan kejadian terbaru dari gelombang badai yang terjadi, maka gelombang badai di masa datang mungkin terjadi dalam bulan Mei.
- ❖ Segmen pantai kawasan pesisir utara Pulau Jawa yang menghadap ke arah timur adalah kawasan pesisir yang sangat berpotensi untuk terkena gelombang badai yang terjadi pada saat Musim Timur berlangsung di bulan Mei.

Fenomena gelombang badai muncul berkaitan dengan fenomena meteorologi berupa tiupan angin yang kemungkinan waktu terjadinya relatif teratur sepanjang tahun sesuai dengan perubahan musim. Dengan demikian, prediksi atau peringatan dini terjadinya gelombang badai lebih mudah dilakukan dari pada prediksi atau peringatan dini tsunami. Mengenai sifat merusak dari gelombang badai ini, kemampuan merusak dari gelombang badai memang kecil bila dibandingkan dengan tsunami seperti yang melanda Provinsi Nangroe Aceh Darussalam pada 26 Desember 2004. Meskipun demikian, untuk kondisi tertentu di suatu tempat tertentu, gelombang badai bisa cukup kuat, seperti yang terjadi pada 11 Juni 2007 di Pantai Nobbys, Newcastle, Australia. Gelombang badai yang terjadi di kawasan pesisir itu mampu mengkandaskan kapal yang memuat batubara seberat 30.000 ton ke pantai.

3.1.4 Banjir

Banjir adalah fenomena alamiah yang umum terjadi di daerah pesisir. Dibandingkan dengan tsunami dan gelombang badai, banjir tidak memberikan kerusakan yang sebesar kerusakan yang diakibatkan oleh kedua bencana itu. Dari segi jumlah korban jiwa yang diakibatkan oleh banjir juga sangat kecil. Namun demikian, seiring dengan meningkatnya pembangunan fisik di daerah pesisir, kerugian finansial yang terjadi karena banjir juga makin meningkat dari tahun ke tahun. Kerugian terjadi karena banjir terutama dalam bentuk kerusakan barang yang tergenang air, rusaknya lahan pertanian dan tambak karena tergenang, terhambatnya kegiatan perekonomian, biaya pemulihan setelah banjir, dan biaya upaya penanggulangan banjir, atau biaya pemindahan infrastruktur dan pemukiman ke lokasi lain yang bebas banjir.

Berdasarkan pada sumber air yang menggenangnya, banjir di daerah pesisir dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu banjir yang terjadi karena meningkatnya debit aliran sungai, dan banjir karena pasang-surut.

Banjir Luapan Sungai

Aliran air dan sedimen ke dalam aliran sungai berubah atau bervariasi sesuai dengan ruang dan waktu. Aliran sungai dikatakan normal bila aliran itu terbatas di bawah tebing saluran sungai, tetapi kadang saluran sungai tidak dapat menampungnya sehingga air sungai dan muatan sedimen melimpah ke daerah sekitarnya. Daerah di sekitar aliran sungai besar umumnya adalah dataran banjir yang terbentuk oleh sistem fluvial untuk mengakomodasi debit aliran sungai yang besar dan jarang terjadi (Cooke dan Doornkamp, 1977). Di daerah hilir dari suatu sistem aliran sungai, dataran banjir dapat juga merupakan dataran pantai. Sebagai contoh adalah di kawasan pesisir utara Pulau Jawa, pesisir timur Pulau Sumatra dan pesisir selatan Pulau Kalimantan.

Cooke dan Doornkamp (1977) menyebutkan bahwa karakteristik banjir tipe ini ditentukan oleh tiga hal, yaitu fenomena transien, karakter cekungan daerah aliran sungai, dan tataguna lahan di daerah aliran sungai. Secara singkat, penjelasan dari tiga hal itu adalah sebagai berikut:

1. Fenomena transien. Secara umum ada beberapa fenomena ini yang dapat menyebabkan banjir, seperti mencairnya es atau salju di daerah empat musim, dan curah hujan yang tinggi. Di daerah tropis seperti di Indonesia, curah hujan yang tinggi adalah penyebab umum dari banjir di daratan pesisir. Di Indonesia secara umum dikenal adanya musim kering, transisi, dan musim basah (Tapper, 2002). Musim basah atau musim hujan bertepatan dengan bulan Desember sampai Maret. Banyak kawasan pesisir di Indonesia mengalami banjir secara teratur pada bulan-bulan itu.
2. Karakter Cekungan Daerah Aliran Sungai. Faktor ini, seperti kondisi fisik cekungan, jaringan aliran sungai dan karakter saluran sungai, menentukan karakter hidrografi banjir yang terjadi, seperti kecepatan aliran banjir dan lamanya genangan banjir.
3. Tataguna Lahan. Hasil penelitian dari Leopold (Cooke dan Doornkamp, 1977) menunjukkan pentingnya tataguna lahan dalam kaitannya dengan banjir yang terjadi. Disebutkan bahwa membangun daerah pemukiman menyebabkan beberapa konsekuensi, seperti aliran permukaan yang lebih cepat melalui atap, jalan, dan saluran drainase daripada bila melalui daerah bervegetasi. Ditambahkan bahwa di daerah-daerah tertentu urbanisasi dapat meningkatkan ketinggian dan frekuensi banjir, mengurangi waktu jeda, dan meningkatkan laju naik dan turunnya banjir. Di Indonesia, kasus banjir di Kota Jakarta adalah salah satu contoh tentang bagaimana perubahan tataguna lahan di daerah aliran sungai meningkatkan tinggi dan luas genangan banjir.

Karakter penting dari banjir tipe ini adalah bahwa banjir datang secara teratur pada setiap musim hujan, meskipun ketinggian dan luas genangan banjir berbeda sepanjang tahun. Pada banjir tipe ini juga dikenal adanya

karakter intensitas banjir yang berulang secara periodik dalam interval waktu tertentu, sehingga dikenal adanya banjir tahunan, 5, 10, 25, 50 atau bahkan banjir 100 tahunan sesuai dengan karakteristik daerah. Beberapa contoh daerah banjir tipe ini di Pulau Jawa adalah di daerah Serang, Jakarta, Indramayu, Cirebon, Brebes, Tegal, Semarang, Kudus, Bojonegoro, dan Lamongan. Sementara itu, secara garis besar dapat disebutkan bahwa banjir jenis dapat terjadi di kawasan pesisir timur Pulau Sumatra dan pesisir selatan Kalimantan.

Banjir Pasang-Surut

Banjir pasang-surut adalah banjir yang terjadi karena naiknya air laut ke daratan pada waktu air laut mengalami pasang. Genangan banjir ini segera surut bila air laut surut. Dengan kata lain, naik dan turunnya genangan banjir tipe ini mengikuti pola naik turunnya air laut karena pasang surut, yang dipengaruhi oleh posisi astronomis bumi, bulan dan matahari. Daerah pesisir yang digenangi oleh banjir ini adalah daerah rawa-rawa pantai atau dataran rendah di tepi pantai.

Salah satu karakter penting dari daerah pesisir adalah kemudahan transportasi. Keadaan itu mendorong manusia untuk tinggal di tepi pantai. Pada mulanya ketika populasi penduduk masih sedikit, orang masih dapat memilih tempat tinggal yang aman dari banjir. Perkembangan selanjutnya, ketika populasi penduduk meningkat yang diikuti dengan peningkatan kebutuhan lahan, maka orang-orang mulai merambah ke daerah-daerah yang tidak aman, seperti membangun pemukiman di darah rawa-rawa atau sangat dekat ke tepi pantai. Sejak saat itulah persoalan banjir ini muncul. Contoh dari kasus seperti ini dapat kita lihat pada perkembangan Kota Jakarta dan Semarang. Sekarang ini di kawasan pesisir utara Jawa Tengah seperti di wilayah Kabupaten Tegal, Pemalang, Pekalongan, dan Demak banjir pasang surut sudah menjadi masalah kronis. Di kawasan tersebut tercatat genangan banjir mencapai ketinggian 20 hingga 1 m, dan lahan pertanian dan pertambakan, perkampungan, pelabuhan dan jalan protokol (Gambar 43).

❖ Karakteristik Banjir Pasang Surut (Rob)

Bila kita tidak mengetahui mengenai banjir ataupun tidak paham mengenai jenis-jenis banjir. Mungkin saja kita akan mengira bahwa penyebab banjir yang terjadi adalah banjir yang disebabkan karena hal-hal yang umum menyebabkan banjir. Padahal, apabila kita mengetahui, satu jenis banjir dengan jenis banjir yang lainnya mempunyai cara penanganan yang berbeda-beda. Oleh karena itu alangkah baiknya apabila kita mengetahui bersama mengenai jenis banjir yang terjadi. Untuk mengetahui jenis banjir yang terjadi, kita bisa melihatnya dari karakteristik banjir yang sedang terjadi. Semua jenis banjir mempunyai suatu ciri khasnya sendiri-sendiri. Seperti halnya banjir rob ini, kita dapat melihat suatu banjir dikatakan sebagai banjir rob dari ciri-ciri

Gambar 43.
Banjir pasang
surut yang
melanda
kawasan
Sungai Dombo,
Kecamatan
Sayung, Demak,
Jawa Tengah
pada tanggal
2 Maret 2017
(Photo credit:
TribunJateng,
2017)



atau karakteristik banjir itu sendiri. Banjir rob sendiri mempunyai beberapa ciri khusus atau karakteristik khusus yang dimilikinya. Beberapa karakteristik atau ciri- ciri banjir rob antara lain:

- a. Terjadi pada saat air laut sedang pasang
- b. Warna air tidak terlalu keruh
- c. Tidak melulu terjadi pada saat musim penghujan tiba
- d. Biasanya terjadi pada daerah yang mempunyai wilayah dataran lebih rendah daripada wilayah lautan.

Jadi ketika ada daerah yang terkena banjir dan mempunyai ciri- ciri seperti yang disebutkan di atas, maka kemungkinan banjir tersebut adalah jenis banjir rob. Lalu, apa saja yang menyebabkan banjir rob ini terjadi? Bagaimanapun, munculnya suatu banjir dipicu oleh beberapa hal. Demikian halnya dengan banjir rob ini. Meskipun kita sudah mengetahui sebelumnya bahwasannya banjir rob ini disebabkan oleh keadaan air laut yang pasang, namun dibalik pasangannya air laut tersebut pastilah ada sesuatu yang melatarbelakangi banjir tersebut terjadi.

❖ Faktor yang Menyebabkan Terjadinya Banjir Rob

Ada beberapa sebab yang menyebabkan terjadinya banjir rob. Meskipun bukanlah penyebab secara langsung, namun juga bisa dikatakan bahwa faktor tersebut dikatakan sebagai faktor-faktor yang mendukung terjadinya banjir rob. Beberapa faktor yang menyebabkan atau mendukung terjadinya banjir rob antara lain adalah:

a. Pemanasan Global

Hal pertama yang disinyalir menjadi sesuatu yang sangat mendukung terjadinya banjir rob adalah pemanasan global, suatu peristiwa alam yang menyebabkan meningkatnya suhu rata-rata dunia. Meningkatnya suhu udara yang ada di bumi ini tentu saja akan berakibat kepada es yang berada di kedua kutub bumi.

Akibat adanya penyebab pemanasan global ini, maka kedua es yang berada pada kutub bumi menjadi mencair dalam jumlah yang tidak sedikit. Mencairnya es yang berada di kedua kutub bumi ini baik sedikit banyak akan mempengaruhi naiknya jumlah atau volume air laut. Akibatnya air laut akan bertambah banyak dan permukaan air laut ini akan naik (fenomena ini disebut dengan fenomena *sea level rise*). Naiknya permukaan air laut ini tentu akan menimbulkan kekhawatiran masyarakat dan menambah resiko terjadinya fenomena banjir rob di suatu wilayah, terutama di wilayah pesisir pantai.

b. Pemanfaatan air tanah secara berlebihan

Ada kaitan antara pemanfaatan air tanah yang berlebihan ini dengan terjadinya banjir rob. Hal ini karena pemanfaatan air tanah yang berlebihan akan menyebabkan turunnya permukaan lapisan tanah. Terlebih di daerah pesisir pantai yang sangat membutuhkan jumlah air bersih yang cukup banyak. Hal ini tentu saja akan menjadikan penduduk yang berada di sekitar pantai tersebut mencari sumber air bersih dalam jumlah yang ekstra, akibatnya hal ini akan menurunkan permukaan tanah di daerah pesisir pantai. Turunnya permukaan air tanah ini akan menyebabkan datangnya banjir rob dengan sangat mudah.

c. Pembabatan hutan mangrove atau hutan bakau

Hutan bakau atau hutan mangrove ini mempunyai fungsi untuk menahan air apabila gelombang pasang tiba. Apabila hutan mangrove ini dibabat habis, maka yang akan terjadi adalah gelombang yang menerjang tidak akan bisa ditahan. Gelombang yang tidak bisa dilindungi ini akan bisa menjadi ancaman bagi terjadinya banjir rob ini.

d. Keadaan topografi suatu wilayah

Keadaan topografi yang dimaksud ini merupakan keadaan wilayah alam yang terpampang nyata di suatu wilayah. Keadaan topografi yang menyebabkan terjadinya banjir rob merupakan topografi yang tipe permukaan tanahnya ada di bawah atau rendah dari permukaan air laut. Keadaan topografi yang demikian inilah yang akan menyebabkan air laut mudah mengalir permukaan tanah atau

permukaan daratan, sehingga akan menyebabkan terjadinya banjir rob. Berbeda halnya dengan daerah pegunungan yang mempunyai keadaan wilayah yang lebih tinggi daripada permukaan laut, sehingga air laut tidak akan bisa mengalir permukaan air tanah.

e. Adanya fenomena penurunan muka tanah

Sudah dijelaskan sebelumnya bahwasannya permukaan tanah yang turun atau permukaan tanah yang lebih rendah daripada permukaan laut akan menjadi pemicu terjadinya banjir rob pada suatu wilayah tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan permukaan tanah juga otomatis menjadi hal yang mendukung terjadinya banjir rob ini.

f. Perubahan penggunaan tanah rawa, situ, sawah dan lain sebagainya

Tanah yang difungsikan sebagai rawa atau situ ataupun sawah dan lain sebagainya apabila dialih fungsikan menjadi tanah pemukiman, ataupun lahan-lahan yang lainnya yang dapat menghalangi peresapan air ke dalam tanah. Dalam jangka panjang (atau bahkan tidak terlalu panjang), hal seperti ini akan menyebabkan banjir mudah sekali terjadi. Salah satu banjir yang sering terjadi karena hal seperti ini adalah banjir rob.

g. Penyempitan bantaran sungai

Penyempitan bantaran sungai juga menjadi salah satu hal atau faktor yang menjadi penyebab terjadinya banjir rob. Karena sungai yang ada berkurang volume muatan airnya sehingga akan menyebabkan air tersebut meluap- luap ke daratan sehingga akan menyebabkan timbulnya banjir rob tersebut.

h. Membuang sampah di sungai

Membuang sampah di sungai secara tidak langsung juga akan menyebabkan terjadinya banjir rob. Sampah- sampah yang dibuang ke sungai dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama akan tertimbun di dasar sungai dan menyeban sungai mengalami pendangkalan. Sungai yang mengalami pendangkalan ini akan menyebabkan berkurangnya debit air yang berada di sungai. Akibatnya ketika air laut pasang dan air dari laut mengisi sungai- sungai yang ada di sekitarnya dan sungai tersebut tidak cukup untuk menampungnya, hal ini akan menyebabkan air tersebut meluap dan akan mengalir daerah di sekitar sungai tersebut.

i. Sistem drainase yang tidak terawat

Sistem drainase juga menjadi tonggak yang penting bagi pertahanan daratan dari banjir. Drainase adalah kekuatan tanah untuk dapat menyerap air. Ketika sistem penyerapan tersebut terganggu, maka upaya untuk menyerap air agar masuk ke dalam tanah juga terganggu. Hal ini akan menyebabkan mudahnya banjir menyerang suatu daerah. Hal ini tidak hanya berlaku bagi banjir- banjir yang disebabkan karena hujan saja, namun juga banjir rob ini.

Bila kita mencermati faktor-faktor di atas maka akan kita temukan bahwa beberapa faktor tersebut adalah faktor alami dan beberapa lainnya adalah faktor yang disebabkan karena ulah manusia. Oleh karena itu sebagai manusia yang bijak, kita harus berusaha untuk menjauhi perbuatan-perbuatan yang dapat menimbulkan kerugian tersebut. Walau bagaimanapun juga, perbuatan buruk sekecil apapun akan dapat menyumbang atau meningkatkan resiko terjadinya banjir rob ini. Dan hal ini akan membawa berbagai macam kerugian, baik pribadi maupun untuk masyarakat.

3.1.5 Erosi Pantai (Abrasi)

Erosi pantai adalah proses terkikisnya batuan penyusun pantai dan terangkut ke tempat lain oleh aktifitas gelombang dan arus laut. Erosi pantai terjadi sebagai akibat dari bergesernya perimbangan antara kekuatan-kekuatan asal darat dan laut yang berinteraksi di pantai, di mana kekuatan asal laut lebih kuat daripada kekuatan asal darat. Akibat dari erosi pantai adalah hilangnya lahan daratan pesisir pantai dan segala sesuatu yang ada di atasnya, dan bergesernya garis pantai ke arah daratan. Kerugian yang terjadi akibat dari erosi pantai dengan demikian sangat ditentukan oleh nilai dari lahan dan segala sesuatu yang ada di atas lahan tersebut, seperti daerah pemukiman, perkotaan, kawasan industri, lahan perkebunan, pertanian atau tambak; infrastruktur seperti jalan, jembatan, pipa gas atau minyak. Prinsipnya, segala sesuatu yang dapat dibangun di daratan pesisir dekat pantai dapat rusak atau hilang karena erosi pantai (Gambar 44).



Gambar 44. Kawasan pesisir Kec. Linggosari Baganti, Pesisir Selatan (kiri) yang rusak karena abrasi dan kawasan pesisir Kec. Sungai Limau, Padang Pariaman (kanan) yang rusak karena abrasi. (Photo credit: LRSDKP, 2019)

Gelombang laut adalah faktor utama penyebab erosi pantai. Pukulan gelombang yang kuat di pantai merupakan tenaga utama yang menyebabkan material batuan penyusun pantai terlepas dan kemudian terbawa arus ke tempat lain. Di pihak lain, pembentukan gelombang laut sangat ditentukan oleh tiupan angin. Oleh karena itu, untuk menganalisis perubahan garis pantai karena erosi pantai data angin dan gelombang penting untuk dianalisis. Pentingnya kedua faktor itu telah ditunjukkan oleh King (1953) yang menganalisis perubahan garis pantai di Teluk Dresden, Inggris.

Pembentukan gelombang oleh tiupan angin ditentukan oleh tiga hal, yaitu kuatnya tiupan angin, lamanya angin bertiup, dan panjangnya lintasan angin atau *fetch*. Dari ketiga faktor tersebut, faktor kekuatan dan lamanya angin bertiup ditentukan oleh karakteristik angin yang berlaku di suatu kawasan; sementara itu, faktor *fetch* adalah faktor kondisi lingkungan fisik yang sangat ditentukan oleh konfigurasi daratan dan lautan di suatu kawasan. Di Indonesia, secara umum kita mengenal adanya Musim Barat dan Musim Timur. Pada Musim Barat angin dominan bertiup dari arah barat, dan Musim Timur angin dari arah timur. Dengan demikian, ketika suatu musim berlangsung maka ada kawasan pantai tertentu yang mendapat tiupan angin yang kencang dan pukulan gelombang yang kuat.

Secara umum, pada Musim Barat pantai-pantai yang menghadap ke arah barat atau terbuka dari arah barat akan mengalami pukulan gelombang yang kuat bila di hadapannya terdapat *fetch* yang cukup panjang, misalnya pantai barat Kalimantan Barat, pantai barat Sulawesi Selatan, pantai barat Selat Sunda. Sebaliknya pada Musim Timur pantai-pantai yang menghadap ke timur atau terbuka dari arah timur akan mengalami pukulan gelombang yang kuat dan terdapat *fetch* yang cukup panjang di arah timur, seperti pantai Cirebon dan Indramayu, pantai timur Lampung.

Selain mengalami pukulan gelombang yang timbul karena tiupan angin yang kehadirannya berkaitan dengan musim, pantai-pantai di Kepulauan Indonesia juga mengalami pukulan gelombang yang datang dari Samudra Hindia maupun Pasifik. Gelombang yang datang dari Samudra Hindia akan memukul pantai Pulau Sumatra dan pulau-pulau di sebelah baratnya, Pulau Jawa, Bali dan pulau-pulau Nusa Tenggara yang menghadap ke Samudra Hindia. Sementara itu, gelombang yang datang dari Samudra Pasifik mengenai pantai-pantai di Papua bagian utara, pantai timur Waigeo, Halmahera, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur.

Dengan tatanan lingkungan yang diapit oleh dua benua dan dua samudra, maka erosi pantai karena pukulan gelombang laut yang datang dari kedua samudra dan karena angin musim adalah konsekuensi logis yang harus diterima. Gambaran garis besar tentang pantai-pantai yang mengalami erosi di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 45.

No	Propinsi	Jumlah Lokasi
1	Nanggroe Aceh Darussalam	34
2	Sumatera Utara	5
3	Sumatera Barat	6
4	Bengkulu	3
5	Lampung	1
6	DKI Jakarta	8
7	Banten dan Jawa Barat	28
8	Jawa Tengah	4
9	DI Yogyakarta	2
10	Jawa Timur	5
11	Bali	21
12	Nusa Tenggara Barat	1
13	Kalimantan Barat	3
14	Kalimantan Timur	1
15	Sulawesi Utara	2

(Sumber: Diposaptono et al., 2001 dengan modifikasi)

Tabel 10. Lokasi erosi pantai di Indonesia yang dicatat oleh Departemen Pekerjaan Umum dan diberitakan oleh Media Massa.



Gambar 45. Gambaran umum lokasi pantai yang mengalami erosi di Indonesia menurut Diposaptono dkk., 2001. Garis pantai berwarna hitam tebal menunjukkan lokasi pantai yang mengalami erosi.

3.2 Mitigasi Bencana

3.2.1 Mitigasi Gempa bumi dan Tsunami

Mitigasi bencana gempabumi dapat dilakukan secara kearifan lokal, perubahan perilaku manusia dalam menghadapi bencana, monitoring gempa bumi dan tsunami dengan alat teknologi pemantauan, pemasangan rambu dan evakuasi jalur gempa bumi dan tsunami, dan pendirian rumah tahan gempa.

Kearifan lokal

Ada 5 lokasi daerah yang menerapkan kearifan lokal untuk mitigasi gempa bumi dan tsunami:

a. **Mitigasi Gempa Bumi Suku Baduy**

Masyarakat Baduy membuat aturan adat atau *pikukuh*. Makna *pikukuh* adalah menerima apa yang sudah ada. Masyarakat Baduy yang bermukim di Kanekes Rangkasbitung berada pada wilayah rawan gempa. Dalam proses mendirikan bangunan harus sesuai dengan struktur tanah dan letak topografi daerah tersebut. Kondisi rumah, bentuk rumah, susunan ruangan sudah disesuaikan dengan ketentuan adat. Walaupun mereka memiliki tanah tetapi mereka tidak boleh mendirikan bangunan secara sembarangan tanpa ada perijinan dari ketua adat terlebih dahulu. Dalam hal ini, bahan bangunan yang digunakan adalah bahan-bahan yang lentur, seperti bambu, ijuk, dan kiray supaya rumah tidak mudah rusak. Rumah juga tidak boleh didirikan langsung menyentuh tanah. Hal ini dilakukan supaya rumah tidak mudah roboh. Selain itu, kolom bangunan dan sambungan tidak boleh menggunakan paku, hanya pasak dan tali ijuk yang boleh digunakan (Suparmini *et al.*, 2014).

b. **Mitigasi Gempa Bumi Masyarakat Mentawai**

Budaya masyarakat Mentawai yang dahulu tinggal di bukit, rumah tinggal berupa rumah panggung yang terbuat dari kayu, adanya legenda dan lagu mengenai gempa bumi atau biasa disebut *teteu* atau *sigeogeo* merupakan bagian dari kearifan lokal yang seharusnya dikembangkan (Sitorous, 2018).

c. **Mitigasi Gempa Bumi Masyarakat Tana Ai, Nusa Tenggara Timur**

Masyarakat Pulau Rote Kabupaten Rote Ndao Provinsi Nusa Tenggara Barat ketika terjadi bencana gempabumi berteriak: "*ami nai ia o...*", sehingga masyarakat berhamburan keluar rumah untuk mencari tempat-tempat aman seperti di lapangan terbuka, dan membangun barak untuk melindungi orangtua dan anak-anak (Thene, 2016).

d. Mitigasi Gempa Bumi Masyarakat Bali

Pulau Dewata, khususnya yang berada di Desa Culik, Kabupaten Karangasem dan Desa Pengastulan, Kabupaten Buleleng percaya bahwa guncangan tersebut disebabkan oleh pergerakan ular besar (naga). Saat gempa bumi terjadi, masyarakat Bali lari bergegas keluar, masuk ke kolong tempat tidur atau kolong meja, berangkulan satu sama lain, berteriak linuh, linuh, linuh, dan hidup, hidup, hidup. Mitigasi gempa bumi yang dilakukan masyarakat Bali digolongkan sebagai aksi spontan yang dilakukan secara turun menurun. Aksi spontan tersebut dikelompokkan menjadi 4 macam, seperti mencari perlindungan, memberitahu orang lain, menyampaikan keadaan diri sendiri, dan memohon perlindungan kepada Tuhan yang Maha Esa. ([Https://Kumparan.com](https://kumparan.com))

e. Mitigasi bencana tsunami

Di Pulau Simeulue terkenal dengan tradisi *Smong* yang artinya segera lari ke arah bukit setelah gempa karena sebentar lagi air laut naik atau pasang. Masyarakat Simeuleu memahami jika bumi bergetar karena gempa, air surut mendadak surut pertanda tsunami segera datang. Tradisi *Smong* sudah menyatu dengan warga sejak Pulau Simeulue dilanda gempa tahun 1907 (Diposaptono *et al.*, 2008).

Perubahan perilaku manusia dalam mitigasi bencana

Mitigasi bencana yang diterapkan di sini pada perilaku masyarakat dalam menghadapi bencana gempabumi dan tsunami sesuai dengan arahan BNPB (BNPB, 2012). Mitigasi bencana gempabumi terbagi menjadi 3 (tiga):

a. Sebelum terjadi gempa bumi yang perlu disiapkan adalah:

- Mengetahui sosialisasi tentang gempa bumi, mempelajari penyebab gempa.
- Membuat konstruksi rumah tahan gempa.
- Memperhatikan sistem peringatan dini dan membuat sistem peringatan dini mandiri, seperti mengikat benda-benda yang tergantung dengan kuat.
- Melaksanakan dan mengikuti simulasi.
- Mengetahui di mana informasi gempa bisa didapatkan yaitu: BMKG, TV, Radio, ORARI, dll.
- Menyiapkan “tas siaga bencana”

b. **Ketika gempa bumi yang perlu diperhatikan adalah:**

● **Di dalam rumah**

Getaran akan terasa beberapa saat. Masuklah ke bawah meja untuk melindungi tubuh dari jatuhnya benda-benda. Jika tidak memiliki meja, lindungi kepala dengan bantal. Jika sedang menyalakan kompor, maka matikan segera untuk mencegah terjadinya kebakaran.

● **Di sekolah**

Berlindunglah di bawah kolong meja, jika gempa mereda keluarlah berurutan carilah tempat lapang, jangan berdiri dekat gedung, tiang dan pohon.

● **Di luar rumah**

Di daerah perkantoran atau kawasan industri, bahaya bisa muncul dari jatuhnya kaca-kaca dan papan-papan reklame.

● **Di gedung, mall, bioskop, dan lantai dasar mall**

Jangan menyebabkan kepanikan atau korban dari kepanikan. Ikuti semua petunjuk dari petugas atau satpam.

● **Di gunung/pantai**

Ada kemungkinan longsor terjadi dari atas gunung. Menjauhlah langsung ke tempat aman. Di pesisir pantai, bahayanya datang dari tsunami. Jika Anda merasakan getaran dan tanda-tanda tsunami tampak, cepatlah mengungsi ke dataran yang tinggi.

● **Di kereta api**

Berpeganganlah dengan erat pada tiang sehingga tidak akan terjatuh seandainya kereta berhenti secara mendadak.

● **Di dalam mobil**

Saat terjadi gempabumi besar jauhi persimpangan, pinggirkan mobil di kiri jalan dan berhentilah. Hentikan mobil di tempat terbuka. Ikuti instruksi dari radio mobil. Jika harus mengungsi maka keluarlah dengan segera dari mobil.

● **Di dalam lift**

Jangan menggunakan lift saat terjadi gempabumi atau kebakaran. Jika terjebak dalam lift, hubungi manajer gedung dengan menggunakan *interphone* jika tersedia.

c. **Setelah terjadi gempabumi:**

- Periksa kondisi keluarga dan sekitar.
- Jauhi bangunan yang sudah retak-retak dan tidak aman.
- Laporkan kejadian kerugian, korban orang hilang.
- Membersihkan puing - puing dan kerusakan yang terjadi.
- Gotong royong dengan masyarakat dan aparat sekitar untuk kembali memperbaiki rumah atau kerusakan sarana dan prasarana yang ada di sekitar wilayah bencana.
- Bangun kembali bangunan yang sudah rusak dengan konstruksi bangunan tahan gempa.
- Obati trauma yang terjadi khususnya pada anak- anak, wanita dan manula.
- Selalu waspada akan terjadinya gempa susulan.
- Beri pertolongan, dapat diramalkan banyak orang akan cedera saat terjadi gempa bumi besar.
- Bersiaplah memberikan pertolongan pertama kepada orang-orang yang berada di sekitar Anda.
- Dengarkan informasi, saat gempabumi besar terjadi, masyarakat terpukul kejiwaannya. Untuk mencegah kepanikan, bersikaplah tenang dan bertindak sesuai dengan informasi yang benar. Peroleh informasi yang benar dari pihak yang berwenang atau polisi. Jangan bertindak karena informasi yang belum jelas.

Mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami dengan teknologi alat pemantauan

Pemerintah dalam hal ini BMKG mengantisipasi bencana gempabumi dan tsunami dengan pemasangan 6 alat deteksi terdiri dari (<https://www.tagar.id/enam-alat-deteksi-gempa-andalan-bmkg>):

❖ **Satu Set Peralatan Monitoring**

Untuk memantau gempa bumi hingga potensi tsunami, BMKG memantaunya melalui satu set peralatan monitoring di ruang operasional peringatan informasi gempa bumi dan peringatan dini tsunami.

❖ **Seismometer**

Ketika terjadi gempa bumi sebuah alat pendeteksi gempa bumi atau getaran pada permukaan tanah yakni Seismometer akan merekam getaran yang dihasilkan dari gempa bumi dengan potensi tsunami atau tidak.

- ❖ **D1 Seismic Processing System (seiscomp3)**

Informasi gempa bumi dari Seismometer, kemudian akan diolah datanya dengan alat bernama *D1 Seismic Processing System (seiscomp3)* untuk mendapatkan informasi terkait titik gempa dan besar getaran gempa bumi. Ketika data dari alat *D1 Seismic Processing System* diolah, ada dua kemungkinan hasil yang didapatkan. Pertama data menunjukkan skala getaran getaran dibawah lima magnitudo, kedua menunjukkan skala getaran melebihi tujuh magnitudo.

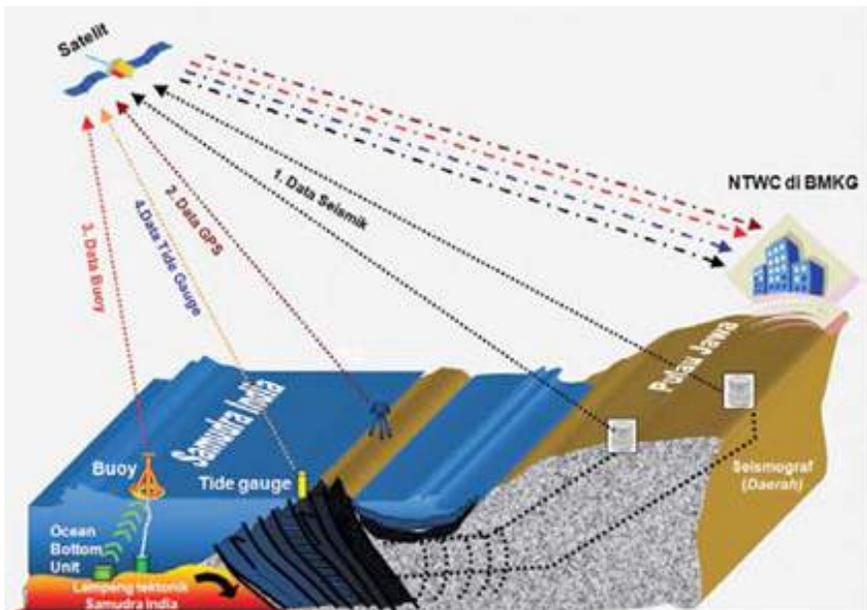
- ❖ **D4 Dissemination System**

Jika data dari alat *D1 Seismic Processing System* menunjukkan skala getaran di bawah lima magnitudo, maka secara otomatis terhubung dengan alat *D4 Dissemination System*. Setelah data keluar, barulah BMKG akan menginformasikan titik terjadi gempa bumi dengan skala angka guncangannya (magnitudo).

- ❖ **D2 Backup Toast**

Jika data dari alat *D1 Seismic Processing System* menunjukkan skala getaran melebihi tujuh magnitudo, maka secara otomatis terhubung dengan alat *D2 Backup Toast*. *D2 Backup Toast*, adalah sebuah alat untuk mengolah getaran gempa bumi apakah punya potensi tsunami atau tidak. Setelah data keluar, barulah BMKG akan menginformasikan gempa bumi dengan peringatan dini potensi tsunami di wilayah terdekat titik terjadinya gempa.

Gambar 46.
Desain Ina-TEWS
(Photo credit:
BMKG, 2012)



❖ **D5 Non Seismic Monitoring**

Data dari *D2 Back up Toast* yang menginformasikan gempa bumi dengan peringatan dini potensi tsunami di wilayah terdekat titik terjadinya gempa. Alat untuk memantaunya bernama *D5 Non Seismic Monitoring*, sebuah alat yang sudah terhubung dengan pemantau tsunami seperti *tide gauge*, *buoy*, maupun GPS.

Selain alat pantau diatas terdapat juga Ina-TEWS (gambar 46) yang memiliki 2 sistem pemantauan yakni (BMKG, 2012):

- ❖ Sistem pemantauan darat terdiri atas jaringan seismometer broadband dan GPS.
- ❖ Sistem pemantauan laut (*sea monitoring system*) terdiri atas *tide gauges*, *buoy*, CCTV, radar tsunami, dan kabel bawah laut (dua yang terakhir masih dalam tahap pengembangan). Data hasil observasi dikirimkan ke BMKG menggunakan sistem komunikasi yang utamanya berbasis satelit.

a. **Jaringan Buoys**

Buoy merupakan alat pengukur ketinggian tsunami di laut lepas. Alat ini juga dikenal dengan tsunameter atau alat pengukur tsunami. Alat ini terdiri atas dua bagian yang terpisah, satu ditempatkan di dasar laut yang disebut dengan *Ocean Bottom Unit* (OBU) (Gambar 47). Unit pengukuran bawah air ini mampu mendeteksi perubahan tekanan air



Gambar 47.
Ocean Bottom Unit (kiri) dan Buoy (kanan)
(Photo credit: BMKG, 2012)

saat tsunami lewat. Setelah mendeteksi tsunami, mengirimkan data ke komponen lainnya yang disebut *buoy*, yang mengapung di permukaan laut di dekatnya. Komponen ini mengapung di permukaan laut dan berfungsi untuk mengukur naik turunnya permukaan air. *Buoy* mengirimkan data dari OBU lewat komunikasi satelit ke pusat kontrol di BPPT untuk selanjutnya diteruskan ke BMKG. Selain itu, *buoy* juga dilengkapi dengan unit GPS berketepatan tinggi, yang mengukur gerakan permukaan air laut dan mampu mendeteksi tsunami yang lewat.

Saat tsunami terjadi, alat ini akan segera merekam perilaku gelombang laut dan mengirimkan datanya. Data dari *buoy* bisa menentukan apakah tsunami telah terbentuk. BPPT telah mengoperasikan kapal riset Baruna Jaya untuk keperluan instalasi, perawatan, dan relokasi *buoy*. Sejauh ini sistem *buoy* Indonesia mengalami banyak kendala di lapangan.

b. Jaringan *Tide gauge*

Tide gauge merupakan alat pengukur pasang surut air laut (Gambar 48). Tsunami menyebabkan perubahan muka air laut dan hal ini akan direkam oleh *tide gauge*. Alat ini ditempatkan di pantai sebagai alat konfirmasi bahwa tsunami sudah tiba di pantai atau tsunami sudah reda.

Pengoperasian *tide gauge* dilakukan oleh BIG (Badan Informasi Geospasial) dan data secara *real time* juga diterima oleh BMKG. Data tersebut berfungsi untuk memverifikasi bahwa tsunami telah tiba di pantai. BIG bertanggung jawab untuk instalasi dan pengoperasian *tide gauges* serta jaringan GPS.

Gambar 48.
Jejaring stasiun
pengamatan
pasut BIG
(Photo credit:
BMKG, 2012)





Gambar 49. Alat IDSL di P. Sebesi Lampung (kiri) dan Pantai Marina Jambu Banten (kanan) (Photo credit: Pusat Riset Kelautan, 2019)

c. IDSL (*Inexpensive Device for Sea Level*)

Merupakan alat untuk mengukur kenaikan tinggi muka air laut yang dirancang oleh *Joint Research Centre* (JRC) dari *European Commission* (EC). Tujuan dari alat ini untuk memonitor kenaikan muka air laut yang dapat menimbulkan bencana tsunami di perairan Mediterranean dan di utara area Atlantik. Karakteristik dari perangkat IDSL sangat murah dan sangat berguna.

Dalam memonitor alat IDSL dilengkapi dengan CCTV sehingga dapat melihat pergerakan kenaikan muka air laut. Alat ini dapat merekam setiap 5-6 detik, lebih cepat dibandingkan dengan alat BMKG yang merekam setiap enam menit. IDSL diprakarsai oleh Pusat Riset Kelautan KKP dan telah dipasang di lokasi gempa sekitar Selat Sunda yaitu: Pantai Marina Jambu di sekitar Pantai Carita, dan P. Sebesi (Gambar 49).

d. Jaringan GPS

GPS (*Global Positioning System*) adalah piranti yang berfungsi untuk menentukan posisi di permukaan bumi yang dinyatakan dengan koordinat geografis berdasarkan garis bujur, garis lintang, dan ketinggian (Gambar 50). Dengan meletakkan GPS di sebuah titik di permukaan bumi maka akan diketahui posisi titik tersebut dan perubahannya akan tercatat setiap saat. Akumulasi dari perubahan posisi tersebut ditransformasikan dalam bentuk vektor pergerakan relatif sehingga pergerakan lempeng-lempeng bumi dapat diketahui. Sebelum gempa bumi terjadi, GPS dapat digunakan untuk memprediksi lempeng-lempeng yang jenuh oleh tekanan dan berpotensi gempabumi. GPS juga mengukur perubahan posisi lempeng bumi setelah terjadinya gempabumi. Pengoperasian GPS juga dilakukan oleh BIG.

Gambar 50
Stasiun jaringan
GPS (Photo
credit: BMKG,
2012)



Mitigasi dengan rambu dan evakuasi jalur gempa bumi dan tsunami

Tsunami yang terjadi di pesisir pantai Indonesia disebabkan oleh gempa bumi dengan pusat gempa yang dangkal berada di perairan, seperti gempa bumi yang terjadi di Aceh 2004 diikuti oleh tsunami, serta tsunami yang disebabkan oleh longsoran gunung api terjadi di Palu dan Banten (Gunung Krakatau). Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam evakuasi gempa bumi dan tsunami:

- ❖ Berapa jumlah orang yang terpapar terhadap bencana (gempa bumi dan tsunami) di waktu siang dan malam hari,
- ❖ Memperhatikan jarak tempuh dan waktu sampai ke lokasi shelter dari tempat rawan bencana ke lokasi aman.
- ❖ Kemampuan masyarakat dalam mencapai lokasi yang aman sehingga perlu dilakukan *tsunami drill* atau pelatihan bencana tsunami.
- ❖ Memahami risiko tsunami yang dihadapi masyarakat berdasarkan peta topografi dan peta tsunami. Peta bahaya tsunami menginformasikan wilayah yang tergenang akibat gelombang tsunami yang menerjang pesisir dan juga dapat diketahui wilayah yang aman dari gelombang. Waktu kedatangan tsunami ditentukan berdasarkan jarak lokasi gempa dari garis pantai dan struktur dasar laut.

Rambu bencana dalam pasal 5 Perka BNPB Nomor 07 Tahun 2015 meliputi bencana gempa bumi, tsunami, erupsi gunung api, gerakan tanah, banjir dan kebakaran hutan dan lahan. Wilayah yang rentan bencana wajib memberikan informasi berupa rambu dan papan informasi sesuai dengan pasal 1 ayat 2 dan ayat 5 yang disebarluaskan di wilayah yang potensi bencana sesuai dengan Bab VII pasal 1 dan 2.

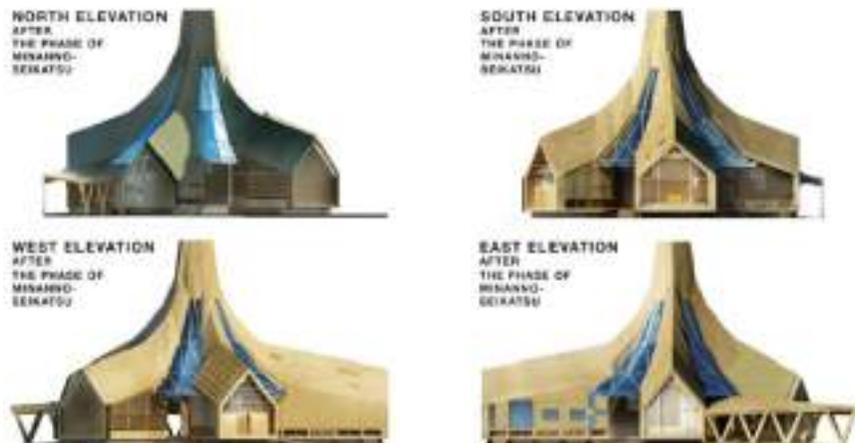


Gambar 51. Mitigasi bencana dengan rambu: tanda petunjuk kumpul sementara (atas), petunjuk arah jalur evakuasi dan tempat pengungsian (tengah), dan peringatan telah berada pada kawasan rawan bencana gempabumi dan tsunami (bawah).

Mitigasi bencana kondisi Rumah atau Bangunan Tahan Gempa bumi dan sebagai *shelter* tsunami

Kejadian bencana gempa bumi di Indonesia seperti di Lombok pada tahun 2018 menyebabkan banyak bangunan yang rusak. Hal ini karena konstruksi bangunan tidak sesuai dengan kaidah tahan gempa sehingga setelah terdampak gempa banyak bangunan yang rusak bahkan tidak dapat digunakan lagi. Oleh karena itu BNPB membuat 7 desain rumah tahan gempa. Adapun disain rumah tersebut sebagai berikut:

- Desain rumah hasil karya mahasiswa UGM Yogyakarta yang diberi nama *growing house* ini dirancang sebagai rumah tahan gempa dan bisa mengantisipasi bencana banjir. Karya yang diberi nama *growing house* berhasil memenangkan sebuah sayembara desain perumahan bertajuk 'Kumamoto Artpolis' yang diadakan oleh pemerintah Jepang. Pengagasnya adalah Ardhyasa Fabrian Gusma, Galih Adityas, Eko Cahyo Saputro, Hafizha Muslim Primaramadhan dan Nabila Afif serta dosen pendamping Ikaputra Ir., M.Eng., Ph.D, yang merupakan perwakilan mahasiswa UGM Yogyakarta (Gambar 52).



Gambar 52. Bangunan rumah tahan gempa yang didesain oleh mahasiswa UGM

Gambar 53.
Rumah Dome
yang didesain
untuk rumah
tahan gempa



- b. Rumah *dome* yang dibangun dengan dinding dan atap menyatu memungkinkan punya daya tahan yang kuat terhadap bencana. Salah satu ciri utama yang mencolok dari bangunan ini adalah tampilannya yang membentuk setengah lingkaran (Gambar 53). Rumah *dome* karya Prof. Nizam, M.Sc, Ph.D ini memang mirip kubah besar di mana elemen dinding dan atapnya menjadi satu kesatuan yang utuh. Karenanya, daya tahan terhadap guncangan dan angin kencang pun semakin kuat.

Rumah *dome* ini adalah konstruksinya yang kokoh dan memakai bahan-bahan ringan, terutama atap dan dindingnya. Sehingga saat diguncang gempa, bahan-bahan ringan ini nggak berayun dengan kencang dan kecil risikonya untuk roboh. Komplek bangunan rumah *dome* yang ada di Indonesia berlokasi di Dusun Nglepen, Prambanan, Kabupaten Sleman. Rumah yang dibangun sebagai mitigasi gempa Jogja tahun 2006 ini kemudian oleh penduduk setempat disebut sebagai rumah *Teletubbies*, merujuk pada serial anak-anak.

- c. Barrataga (bangunan rumah rakyat tahan gempa) terbukti tidak roboh saat gempa meski masih mempertahankan kesan tradisionalnya. Model rumah yang digagas oleh Pakar Rekayasa Kegempaan Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta, Prof. Ir. Sarwidi. Rangka barrataga ini terdiri dari beton kolom, balok bawah, balok tepi atas, balok lantai kemudian disambungkan dengan simpul-simpul barrataga agar tidak patah saat gempa (Gambar 54).



Gambar 54. Bangunan rumah tinggal sederhana tahan gempa (barrataga)

- d. Rumah instan beton bongkar pasang Risha (Rumah Instan Sederhana Sehat) bisa dibangun dalam waktu singkat dan teruji tahan gempa. RISHA merupakan rumah dengan konsep bongkar pasang di mana proses pembangunannya tidak membutuhkan semen dan bata, melainkan dengan menggabungkan panel-panel beton dengan baut (Gambar 55). Komponennya dibuat secara pabrikasi dengan konstruksi penyusun rumah berdasarkan ukuran modular. Risha sudah diaplikasikan di Desa Sembalun, Lombok timur dengan dibangun 20 unit tahun 2018. Akibat terjadi gempa tektonik di kaki gunung Rinjani tahun 2018. Hasil analisis BMKG menunjukkan gempa bumi ini memiliki kekuatan $M=6,4$. Episenter gempabumi terletak pada koordinat 8,4 LS dan 116,5 BT, atau tepatnya berlokasi di darat pada jarak 47 km arah timur laut Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat pada kedalaman 24 km.



Gambar 55. Rumah instan sederhana sehat (Risha) yang merupakan konstruksi bangunan rumah dengan beton bongkar pasang

Gambar 56.
Rumah instan
kayu (Rika) yang
konstruksinya
terbuat dari kayu
dirancang untuk
tahan gempa.



- e. Rika (Rumah Instan Kayu) yang diproses menggunakan kayu rekayasa sebagai pembentuk konstruksinya. Rumah instan ini berbahan dasar dari kayu kelas rendah cepat tumbuh (sengon, karet, akasia mangium) yang diolah kembali sehingga kekuatannya setara dengan kayu kualitas kelas 1 (Gambar 56). Konstruksi rumah menggunakan kayu juga relatif lebih mudah untuk dirancang tahan gempa. Peralannya, sifat dasar materialnya lebih ringan bila dibandingkan beton dan batu bata pada umumnya.
- f. Ruspun (Rumah Unggul Sistem Panel) yang menggunakan sistem bongkar pasang dengan teknologi baru. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Badan Penelitian dan Pengembangan telah mengeluarkan produk Rumah Unggul Sistem Panel atau Ruspun sebagai pengembangan dari Risha. Ruspun mempunyai kemampuan lebih tahan gempa jika dibandingkan dengan Risha karena konsep bangunan menghilangkan simpul dengan menggantikan dengan teknologi baru yang lebih mudah dipasang (gambar 57).
- g. Rumah tanpa kayu besutan PT. Conwood Indonesia ini juga diklaim kuat karena tahan gempa, anti rayap dan tahan api. Terbatasnya suplai bahan bangunan untuk membangun rumah memunculkan inovasi desain rumah yang menggunakan produk substitusi. Rumah Conwood seluruh materialnya menggunakan campuran semen dan serat fiber (Gambar 58). Dalam inovasinya, teknologi rumah Conwood bisa dibangun dalam waktu 7 hari dengan 7 orang pekerja.



Gambar 57. Rumah unggul sistem panel (Ruspin) yang didesain oleh Balitbang Kementerian PUPR memiliki kemampuan tahan gempa



Gambar 58. Rumah Conwood yang konstruksinya terdiri dari campuran semen dan serat fiber didesain bukan hanya tahan gempa, tapi juga anti rayap dan tahan api.

BAB IV

Karakteristik Laut Indonesia

Widodo Setiyo Pranowo

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Dwiyoga Nugroho

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Herlina Ika Ratnawati

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Eva Mustikasari

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Rahmad Surya Hadi Saputra

Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang

Sitasi:

Pranowo W. S., Nugroho D., Kuswardani A. R. T. D., Ratnawati H. I., Mustikasari E. & Saputra R. S. H. P. 2019. Karakteristik Laut Indonesia, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

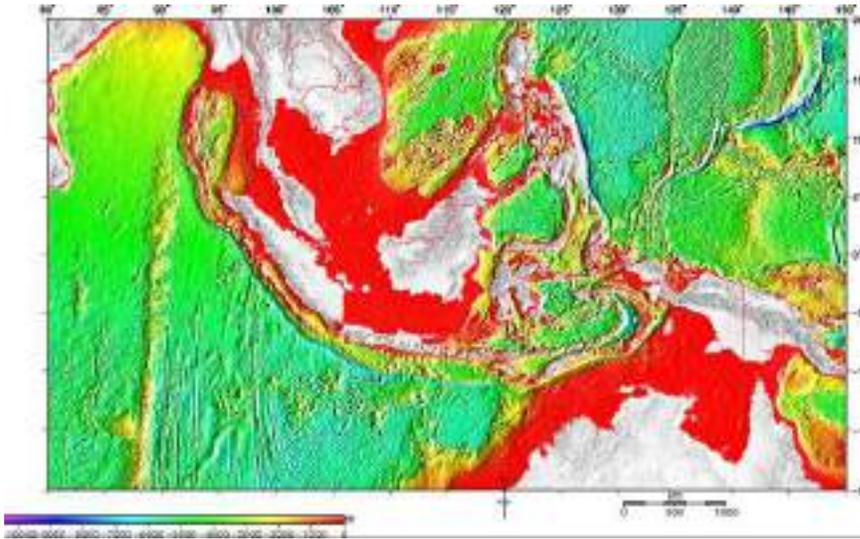
Karakteristik Laut Indonesia

Bab ini menjelaskan karakteristik oseanografi fisis laut Indonesia berikut interaksinya yang kuat dengan variabel atmosferik. Inti dari karakteristik laut ini adalah proses transfer energi dari matahari yang masuk ke lapisan atmosfer dan menuju permukaan bumi yang mengandung daratan dan lautan. Energi tersebut ada yang diserap yang kemudian dipantulkan kembali ke angkasa setelah beberapa waktu, namun ada juga yang langsung dipantulkan ke angkasa oleh lapisan tertentu dan awan di atmosfer. Proses transfer energi yang berlangsung di permukaan dan kolom laut kemudian akan sangat dipengaruhi oleh bentuk wadah dari laut tersebut, yakni sangat dipengaruhi oleh bentuk geomorfologi pantai dan kondisi batimetrinya.

4.1. Karakteristik Batimetri dan Geomorfologi Pantai Indonesia

Indonesia merupakan satu satunya negara kepulauan di wilayah ekuator yang secara geologi dan geofisika pembentukannya dihipit oleh lantai dasar samudra Hindia, lantai dasar samudra Pasifik, dan lantai dasar Laut Australia Utara yang menuju ke bawah Wilayah Nusantara atau Benua Asia. Wilayah Benua Maritim Indonesia ini mempunyai bentuk geomorfologi pantai, dasar perairan yang kompleks dengan ribuan pulau yang terbentuk puluhan juta tahun yang lampau, lihat Gambar 59.

Rosalina *et al.*, (2013) menjelaskan bahwa berdasarkan data batimetri dari GEBCO (2014), kemudian mendeskripsikan karakteristik geomorfologi pantai dan dasar laut (batimetri) Indonesia seperti yang telah dimuat ke dalam Buku Deskripsi Ekoregion Laut Nasional.



Gambar 59. Bentuk Geomorfologi Indonesia dan sekitarnya. Kedalaman laut (batimetri) dangkal dinyatakan warna merah, semakin dalam dinyatakan dengan hijau hingga biru muda seperti di Palung Selatan Jawa dan Laut Banda. Data diekstrak dari GEBCO 30 arcsec gridded data (GEBCO, 2014).

Samudra Hindia Sebelah Barat Sumatra terbentuk sekitar 54 juta tahun silam dan merupakan bagian dari paparan Sunda. Morfologi dasar laut untuk wilayah ini terdiri dari paparan benua, lereng benua, dan paparan laut dalam, dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 5500 m (Rosalina *et al.*, 2013). Samudra Hindia Selatan Jawa terbentuk \pm sebelum 54 juta tahun silam yang merupakan bagian dari paparan Sunda. Morfologi dasar laut untuk wilayah ini terdiri paparan benua (*continental shelf*), lereng benua (*continental slope*), dan pematang samudra (*sub marine ridge*), dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 7235 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Wilayah perairan Bali dan Nusa Tenggara ini terbentuk sekitar 15 juta hingga 5 juta tahun silam, yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut untuk wilayah ini berupa dataran laut dalam (*abyssal plain*), lereng benua (*continental slope*), pematang samudra (*sub marine ridge*), dengan kedalaman berkisar antara 0 sampai dengan 7247 m (Rosalina *et al.*, 2013). Selat Malaka terbentuk \pm sebelum 54 juta tahun silam yang merupakan bagian dari paparan Sunda. Morfologi dasar laut untuk ekoregion ini adalah paparan benua (*continental slope*), dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 258 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Laut Natuna (Utara) terbentuk \pm sebelum 54 juta tahun silam yang merupakan bagian dari paparan Sunda. Morfologi dasar laut untuk ekoregion ini adalah paparan benua (*continental slope*) dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 1879 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Selat Karimata terbentuk \pm sebelum 54 juta tahun silam yang merupakan bagian dari paparan Sunda. Morfologi dasar laut ekoregion ini adalah paparan benua (*continental slope*), dengan kedalaman 0 hingga 53 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Laut Jawa terbentuk sekitar 54 juta tahun silam dan merupakan bagian dari paparan Sunda. Morfologi dasar laut untuk ekoregion ini adalah paparan benua (*continental slope*), dengan kedalaman 0 hingga 992 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Laut Sulawesi terbentuk sekitar 14 juta hingga 5 juta tahun silam yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut ekoregion ini berupa dataran laut dalam (*abyssal plain*), dan lereng benua (*continental slope*), dengan kedalaman 0 hingga 6187 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Selat Makassar terbentuk sekitar 48 juta hingga 5 juta tahun silam yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut ekoregion ini berupa paparan benua (*continental shelf*), lereng benua (*continental slope*), dan dataran laut dalam (*abyssal plain*), dengan kedalaman 0 hingga 3188 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Teluk Tomini mempunyai umur pembentukan \pm sebelum 6 juta tahun silam yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut untuk ekoregion ini terdiri dari dataran laut dalam (*abyssal plain*) dan lereng benua (*continental slope*), dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 3854 m. Wilayah ini juga mempunyai 3 gunung api bawah laut (Rosalina *et al.*, 2013).

Laut Halmahera mempunyai umur pembentukan \pm sebelum 6 juta tahun silam yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut untuk wilayah ini berupa dataran laut dalam dan lereng benua, dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 9514 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Laut Banda Sebelah Timur Sulawesi mempunyai umur pembentukan \pm sebelum 6 juta tahun silam yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut untuk wilayah ini berupa dataran laut dalam dan lereng benua, dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 9514 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Wilayah Perairan Teluk Bone, Kepulauan Wakatobi dan Laut Flores Utara (sebelah selatan Sulawesi) ini mempunyai umur pembentukan \pm sebelum 5 juta tahun hingga 1 juta tahun silam yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut untuk wilayah ini terdiri dari dataran laut dalam, dan lereng benua, dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 3700 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Perairan meliputi Laut Banda, Seram dan Kepulauan Tanimbar mempunyai umur pembentukan \pm 2 juta hingga 1 juta tahun silam yang merupakan bagian dari serpihan Wallacea. Morfologi dasar laut untuk wilayah ini berupa dataran laut dalam dan lereng benua, dengan kedalaman antara 0 hingga 7355 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Laut Arafura mempunyai umur pembentukan 54 juta tahun silam. Morfologi dari ekoregion ini berupa lereng benua, dengan kedalaman antara 0

hingga 1613 m (Rosalina *et al.*, 2013). Sementara wilayah perairan Selatan, Barat, dan Baratlaut Kepala Burung Papua hingga Teluk Bintuni mempunyai umur pembentukan \pm sebelum 3 juta hingga 1 juta tahun silam yang merupakan dari serpihan Wallace. Morfologi dasar laut untuk ekoregion ini adalah paparan benua dan lereng benua, dengan kedalaman 0 hingga 4980 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Teluk Cendrawasih mempunyai umur pembentukan 1 juta tahun silam. Morfologi dari wilayah ini berupa dataran laut dalam dan lereng benua, dengan kedalaman berkisar antara 0 hingga 4550 m (Rosalina *et al.*, 2013).

Samudra Pasifik Sebelah Utara Papua (di luar Teluk Cenderawasih) mempunyai umur pembentukan 9 juta hingga 2 juta tahun silam. Morfologi dasar laut untuk ekoregion ini berupa dataran laut dalam dan lereng benua, dengan kedalaman antara 0 hingga 5608 m (Rosalina *et al.*, 2013).

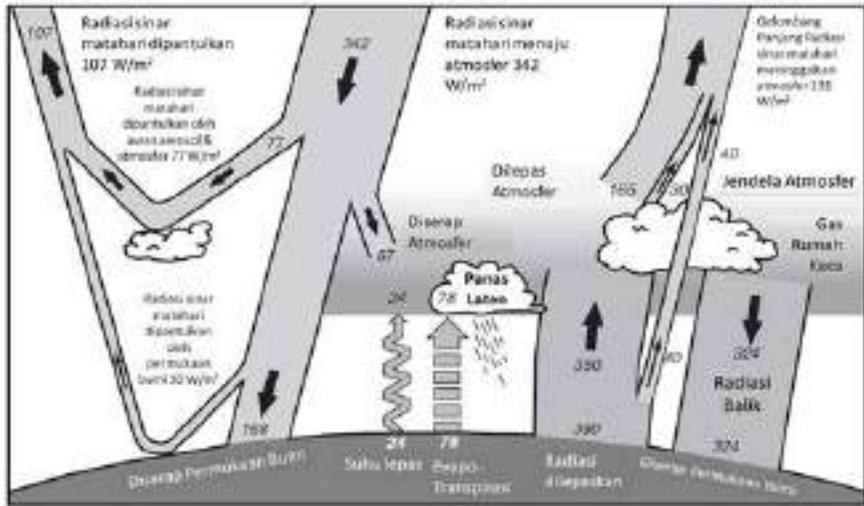
4.2. Transfer Energi Radiasi Matahari Menuju Ke Laut

Matahari merupakan sumber energi utama untuk segala kehidupan di Bumi dan pergerakan di atmosfer dan lautan. Sinar matahari yang terpancar dan menjalar dalam ruang vakum angkasa luar menuju ke bumi dengan mekanisme perpindahan energi khususnya energi elektromagnetik disebut sebagai radiasi matahari. Radiasi matahari yang jatuh ke permukaan bumi disebut sebagai insolasi. Dalam penjalarnya di angkasa luar, radiasi matahari tidak mengalami kehilangan energi, namun intensitasnya berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari matahari.

Radiasi matahari didominasi oleh sinar ultraviolet, sinar tampak dan sinar infra merah. Matahari juga dapat dianggap sebagai benda hitam, hal ini berarti bahwa benda tersebut merupakan benda penyerap sempurna atau pemancar sempurna. Sebagian energi matahari dipantulkan kembali ke ruang angkasa dan meninggalkan bumi dalam panjang gelombang pendek yang sama ketika dia datang ke Bumi (lihat Gambar 60). Hampir sebagian besar (99 persen), energi radiasi matahari berada dalam daerah gelombang pendek, yaitu antara $0,15\mu\text{m}$ dan $4,0\mu\text{m}$.

Radiasi matahari dalam perjalanannya melewati atmosfer menuju permukaan bumi mengalami penyerapan (absorpsi), pemantulan (refleksi), hamburan (*scattering*), dan pemancaran kembali atau reradiasi (Aldrian, 2008). Tutupan awan dapat menghalangi masuknya radiasi matahari. Banyaknya radiasi yang dipantulkan oleh awan tidak hanya tergantung pada banyak dan tebalnya awan saja, melainkan juga bergantung pada tipe atau jenis awan (Tabel 11). Albedo adalah nisbah antara energi radiasi yang dipantulkan dan energi radiasi yang datang. Tiap permukaan bumi memiliki tipe albedo yang berbeda-beda (Tabel 12).

Gambar 60. Neraca energi surya yang keluar masuk di bumi (Hasil Perhitungan Houghthon *et al.*, 1996 berdasarkan data dari Trenberth & Solomon 1994, ditampilkan pada Stewart, 2002).



Sebagian besar radiasi ultraviolet matahari diserap oleh lapisan ozon. Selain itu, langit yang tidak berawan terlihat biru karena sebaran panjang gelombang pendek oleh molekul-molekul gas atmosfer.

Bumi menerima energi dari matahari dan juga merefleksikan dan meradiasikan energi kembali ke ruang angkasa. Berdasarkan Gambar 60, Jumlah rata-rata radiasi matahari yang menembus atmosfer dan mencapai bumi sekitar 51 persen dari total energi yang masuk. Dari 49 persen yang tidak mencapai bumi, 30 persen dipantulkan kembali ke ruang angkasa dan 19% diserap oleh atmosfer dan awan.

Keseimbangan energi yang masuk dan keluar ini menciptakan sistem iklim yang mendukung kehidupan di bumi. Hukum Konservasi Energi

Tabel 11. Albedo berbagai jenis Awan. (Prawiwardoyo, 1996)

Jenis Awan	Albedo (%)
Sirus	36
Altostratus	39-59
Stratus	42-84
Kumululus	70-90
Kumulonimbus	92

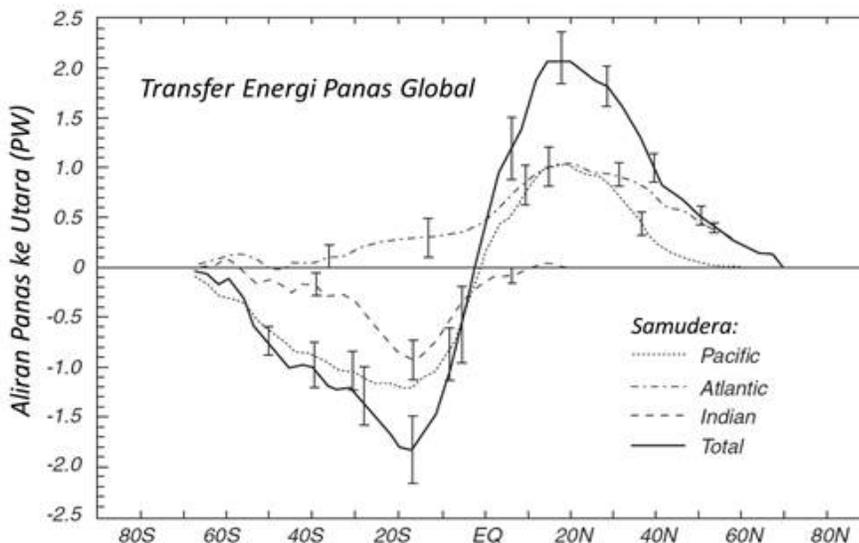
Tabel 12. Albedo berbagai tipe permukaan bumi (Prawiwardoyo, 1996)

Permukaan	Albedo (%)
Salju	Hingga 90
Padang Pasir	35
Vegetasi	10-25
Tanah terbuka atau batu	10-20
Area terbangun	12-18
Badan Air	2

menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Energi dari matahari dikirim sebagai energi cahaya, dan sebagian dari energi itu digunakan untuk menghangatkan bumi, menimbulkan adanya perbedaan dalam densitas udara dan air antara daerah hangat dan dingin di atmosfer dan lautan yang akibatnya akan menimbulkan arus. Panas juga mendorong evaporasi dari lautan dan siklus air. Semua energi yang menghangatkan atmosfer, lautan, dan daratan dipancarkan kembali ke ruang angkasa untuk mempertahankan iklim bumi saat ini (lihat Gambar 61 dan Gambar 62). Jika jumlah energi yang dipancarkan kembali ke ruang angkasa berkurang bahkan dalam jumlah yang sangat kecil, maka dapat menyebabkan pemanasan. Hal ini yang kemudian dikenal sebagai 'greenhouse effect', di mana peningkatan kadar karbon dioksida di atmosfer memiliki 'efek rumah kaca' dalam mengurangi jumlah energi yang dipancarkan ke ruang angkasa, lihat Gambar 60.

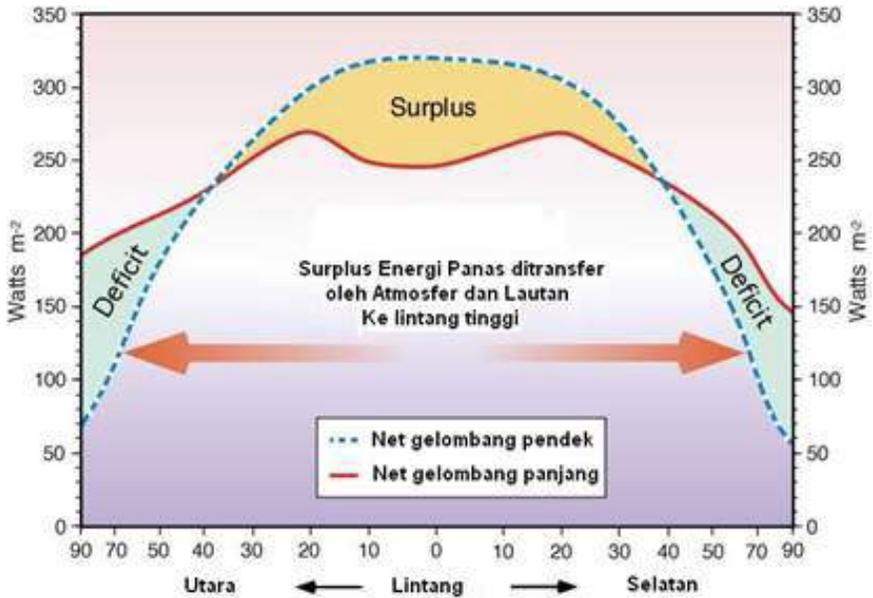
4.3. Karakteristik Evaporasi, Presipitasi dan Kelembaban

Dalam siklus hidrologi dikenal istilah presipitasi, evaporasi, dan kelembaban. Presipitasi merupakan turunnya air dari atmosfer bumi menuju permukaan laut dan permukaan daratan dalam berbagai bentuk yang berbeda-beda. Presipitasi di daerah ekuator dikenal dengan curah hujan. Curah hujan adalah air yang dikeluarkan dari awan dalam bentuk hujan, salju dan hujan es (*hail*). Hujan merupakan koneksi utama dalam siklus air yang menyediakan air untuk ditransfer ke atmosfer bumi. Evaporasi adalah proses perubahan fase air atau es menjadi fase uap (penguapan) pada permukaan air (danau, sungai dan laut). Sedangkan kelembaban udara adalah banyaknya uap air yang terkandung di udara, biasanya dinyatakan dalam presentase (%).

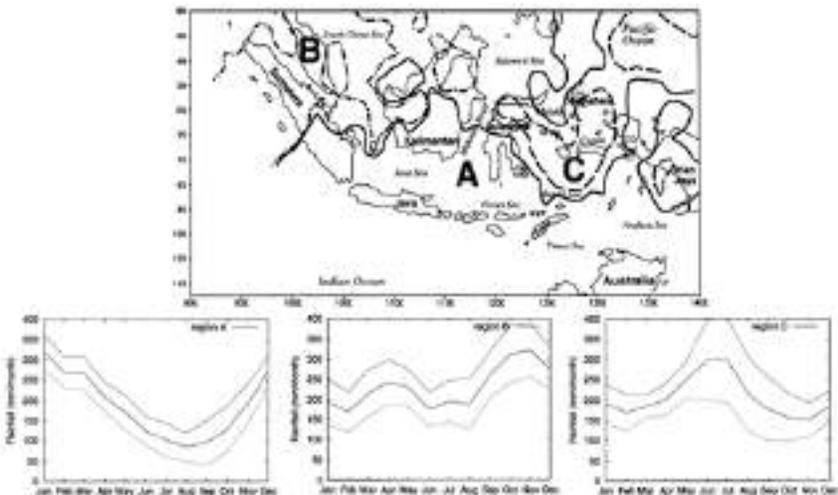


Gambar 61. Variasi aliran (transport) energi panas global yang merupakan penjumlahan total aliran panas dari kawasan samudra tropis menuju kawasan samudra subtropis di Pasifik, Atlantik, Hindia dan kawasan kutub (Hasil Perhitungan Houghton *et al.*, 1996 berdasarkan data dari Trenberth & Solomon 1994, ditampilkan pada Stewart, 2002).

Gambar 62. Keseimbangan radiasi gelombang pendek dan panjang dari khatulistiwa ke kutub. (Trenberth dan Solomon 1994 dalam Aldrian, 2008)



Variasi hujan di wilayah BMI yang tinggi terdistribusi secara spasial dan temporal dalam bentuk pola hujan yang berbeda di wilayah Indonesia. Perbedaan pola hujan tersebut dipengaruhi oleh kondisi monsoon (monsoon), ITCZ (*Inter-Tropical Convergence Zone*), kondisi lokal (Mamenun, 2013) dan variabilitas iklim antar tahunan (El Nino/La Nina, IOD). Pola hujan di wilayah Indonesia secara dominan dibagi menjadi tiga, yaitu Wilayah A (dikenal dengan pola monsoonal/monsoon), Wilayah B (pola equatorial) dan Wilayah C (pola lokal), seperti yang diteorikan oleh Aldrian dan Susanto (2003), lihat Gambar 63.



Gambar 63. Pembagian wilayah pola hujan di Indonesia dan pola puncak musim di tiga wilayah (Aldrian & Susanto, 2003).

Benua Maritim Indonesia (BMI), dengan posisinya yang unik terbentang di sekitar ekuator dengan koordinat geografis 7° 20' LU - 14° LS, dan 92° BT -141° BT dengan panjang garis pantai total 43.670 mil atau 80.791 km. Dari aspek meteorologis, benua maritim Indonesia mempunyai kompleksitas dalam fenomena cuaca dan iklim. Atmosfer di atas Indonesia sangat kompleks dan pembentukan awannya sangat unik (Aldrian, 2008; Ratnawati, 2017).

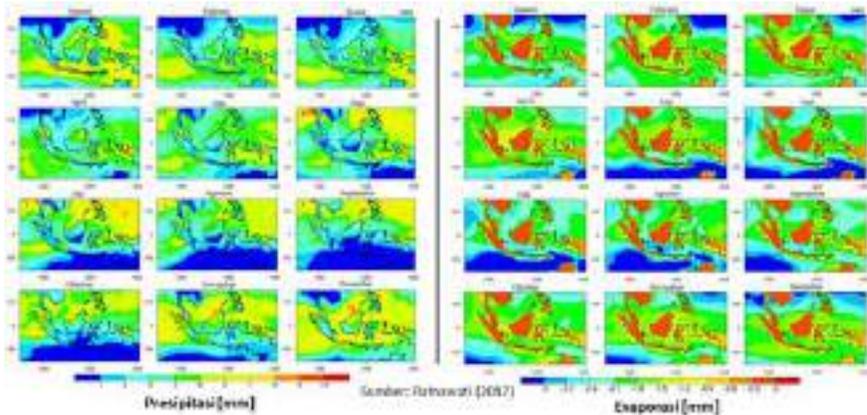
Posisi geografis BMI yang terletak di daerah tropis dengan diapit oleh dua benua (Asia & Australia) dan dua samudra (Pasifik dan Hindia) sehingga BMI menjadi pusat sirkulasi atmosfer dan laut global. Interaksi antara atmosfer dan samudra Pasifik menimbulkan peristiwa *El Niño* dan *La Niña*. *El Niño* adalah episode panas dan *La Niña* adalah episode dingin di bagian tengah samudra Pasifik, biasanya di antara daerah Nino 3 (daerah 5°U - 5°S, 150°B - 90°B) dan Nino 4 (daerah 5°U - 5°S, 160°T -150°B) yang disebut daerah Nino 3.4 (daerah 5°U - 10°S, 180°B - 120°B). Dampak yang paling mudah dikenali dari fenomena *El Niño* adalah menyebabkan musim kemarau Panjang, dan *La Niña* ditandai dengan musim kemarau lebih basah di Indonesia. Interaksi antara atmosfer dan Samudra Hindia yaitu laut pantai barat Sumatra dan Afrika Timur menyebabkan fenomena *Dipole Mode* (Ratnawati, 2017). *Dipole Mode* positif jika temperatur permukaan laut pantai barat lebih dingin dan negatif jika lebih panas dibandingkan temperatur permukaan laut pantai timur Afrika (Ratnawati, 2017). *Dipole Mode* bernilai positif menyebabkan kurang hujan dan negatif menyebabkan banyak hujan di Indonesia. Indonesia berada pada daerah monsoon, karena daerah monsoon dibatasi oleh garis lintang 35°LU dan 35°LS dan garis bujur 30°BB dan 170°BT menurut Ramage (1971), lihat Gambar 66. Kondisi inilah yang membuat Indonesia memiliki presipitasi dan evaporasi tinggi, lihat Gambar 63. Hal tersebut sejalan dengan tingginya kelembaban.

Penyebab utama pergerakan yang terjadi di lautan dan atmosfer adalah radiasi matahari. Matahari berperan dalam pergerakan di lautan dengan adanya variasi suhu dan salinitas di lautan sehingga membedakan densitas dan masa jenis air laut. Perubahan suhu air laut disebabkan oleh adanya aliran energi panas di batas laut atmosfer sedangkan perubahan tingkat salinitas diakibatkan oleh perpindahan air tawar melalui proses hujan (presipitasi) dan penguapan (evaporasi), lihat Gambar 63.

4.4. Angin

Cuaca dan iklim yang terjadi di permukaan bumi mengalami proses perubahan secara spasial dan temporal. Proses perubahan spasial meliputi skala lokal, regional dan global, sedangkan perubahan temporal terjadi dalam skala per-jam-an, harian hingga bulanan. Proses perubahan ini pada dasarnya diakibatkan oleh udara yang bergerak relatif terhadap permukaan bumi, sedangkan pergerakan udara ini disebabkan oleh berbagai gaya yang bekerja pada partikel udara. Gaya tersebut berasal dari energi radiasi matahari yang

Gambar 64. Presipitasi dan Evaporasi rata-rata bulanan tahun 2011-2015 di wilayah Benua Maritim Indonesia (Ratnawati, 2017).



diterima oleh permukaan bumi. Distribusi energi radiasi matahari, tutupan awan serta dinamika disekitarnya mengakibatkan perbedaan tekanan dan suhu di atmosfer yang kemudian diubah menjadi energi kinetik sebagai angin (Therkalsen, 2014). Karakteristik utamanya adalah arah, kecepatan, dan langkisauan (*gustiness*) atau turbulensi.

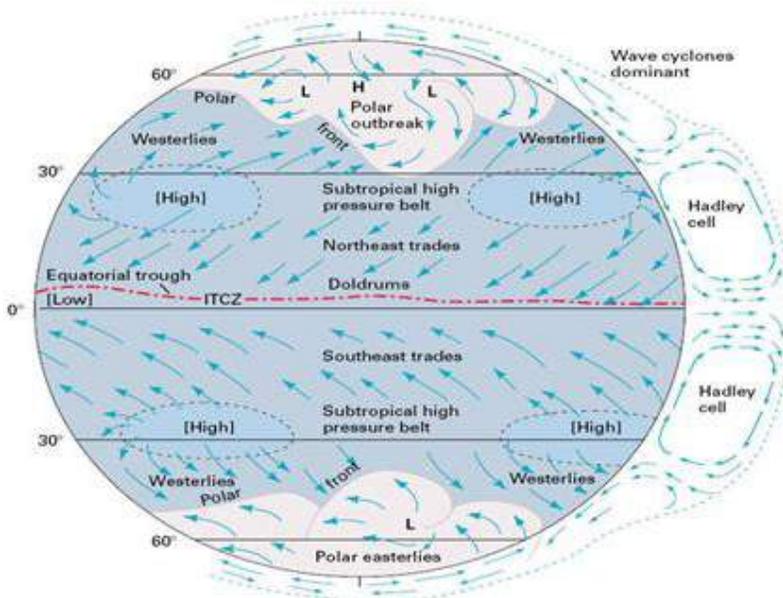
Pemahaman tentang angin terkait dengan sirkulasi umum atmosfer merupakan rata-rata pergerakan angin rata-rata di permukaan bumi. Mekanisme dasar proses terjadinya pergerakan angin adalah penimbunan, pelenyapan dan transfer panas akibat distribusi energi radiasi matahari ke permukaan bumi. Daerah ekuator dan tropis menerima radiasi matahari lebih besar dibandingkan daerah kutub, sehingga daerah ekuator dan tropis selalu lebih panas dan bertekanan rendah dibandingkan dengan daerah kutub yang dingin dan bertekanan tinggi. Pemahaman pola angin juga terkait dengan sirkulasi umum atmosfer yang dapat didekati dengan identifikasi pola angin utama dan berbagai daerah dengan tekanan tinggi dan rendah yang telah terpetakan (Gambar 65).

Di sekitar daerah ekuator dengan tekanan rendah, angin akan memusat dan bergerak naik, sedangkan angin permukaan menjadi lemah atau berubah. Daerah pita (*belt*) di sekitar ekuator disebut dengan berbagai nama yaitu daerah tekanan rendah ekuator, palung ekuator, pita konvergensi ekuator, Daerah Konvergensi Intertropis (DKI) atau yang dikenal dengan istilah Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ, Daerah Konvergensi lintas tropis). Pada masing-masing sisi daerah ITCZ berhembus angin pasat timur laut di belahan bumi utara dan angin pasat tenggara di belahan bumi selatan. Meskipun gaya gradient tekanan berarah dari tekanan tinggi subtropis menuju daerah konvergensi intertropis, angin dibelokkan oleh rotasi bumi sehingga angin membuat sudut pada saat mendekati ekuator. Sumber tekanan angin pasat adalah tekanan tinggi subtropis yang bukan merupakan pita (*belt*) kontinyu, melainkan putus-putus berbentuk sel. Sebagian udara yang menyebar akan

menjadi angin pasat dan sebagian berhembus ke daerah kutub membentuk angin utama baratan (*westerlies*).

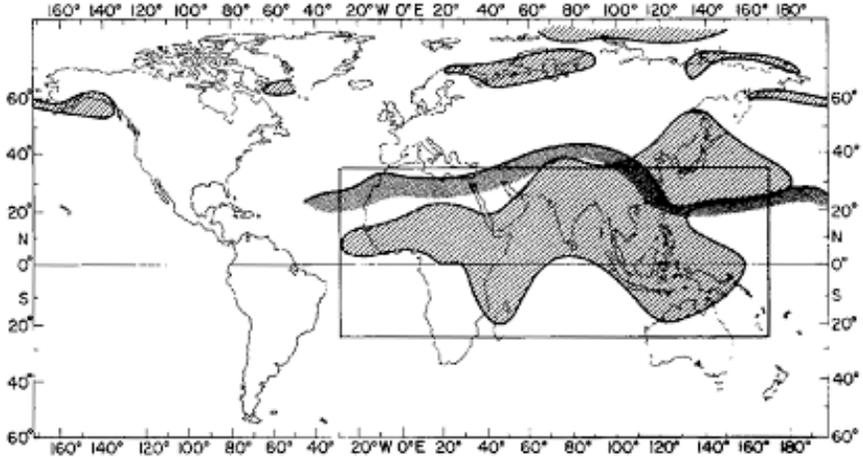
Pergerakan udara di titik pusat konveksi menyebabkan adanya daerah pempunan awan konvektif lintas benua (ITCZ), dengan ciri, tempat kumpulan awan, tempat bertemunya angin pasat timur laut dan tenggara dan daerah dengan suhu muka laut maksimum. Tempat bertemunya kedua angin pasat ini ditandai dengan angin arah timuran sekaligus merupakan daerah konvergensi yang disebut sabuk ITCZ. Keberadaan benua Asia dan Australia berpengaruh pada kontras antara kedua benua tersebut semakin memperkuat pergerakan utara selatan dari ITCZ. Apabila salah satu benua tersebut tidak ada maka pergerakan utara selatan dari ITCZ akan tidak sekuat yang terjadi selama ini.

Monsoon (Monsoon) merupakan fenomena iklim global dalam skala musiman di mana terjadi perubahan iklim di atmosfer dan laut. Penyebab utama dari monsoon adalah perbedaan dalam kecepatan pemanasan di darat dan laut. Kondisi ini disebabkan oleh pergerakan titik kulminasi matahari terhadap bumi yang bergerak utara-selatan sehingga terciptanya kontras tekanan dan suhu antara benua dan samudra. Fenomena monsoon selain mengikuti fungsi kulminasi matahari juga mengikuti pola garis pantai karena pada daerah tersebut terjadi pusat-pusat konveksi dan juga diakibatkan oleh pola kontras antara benua dan samudra, sehingga pergerakan daerah fenomena monsoon tidak murni bergerak arah utara selatan. Untuk wilayah Indonesia terjadi pergerakan masuk dan keluarnya monsoon dari barat laut menuju tenggara karena mengikuti posisi benua dan samudra yang mengapit wilayah benua maritim. (Aldrian, 2008).



Gambar 65. Bagan Pola Angin dan Tekanan (Therkalsen, 2014).

Gambar 66.
Peta daerah
monsoon
muka bumi
berdasarkan
definisi dari
Ramage (1971).



Berdasarkan Gambar 66, tentang wilayah monsonal (*monsoonal*) di muka bumi, terlihat jelas bahwa posisi daerah monsoon mengikuti garis pantai dari benua. Jika benua Australia tidak ada maka pergerakan monsoon di benua maritim Indonesia tidak akan mencapai wilayah selatan Indonesia. Selain itu, musim penghujan di wilayah selatan Indonesia teramat jauh lebih pendek daripada musim penghujan di sebelah utara Indonesia karena wilayah selatan adalah wilayah puncak selatan dari pergerakan ITCZ, sedangkan wilayah tengah dan utara dua kali dilewati oleh ITCZ sehingga memiliki sifat curah hujan tahunan dua puncak. Sifat lebih pendeknya musim penghujan di wilayah selatan juga dikarenakan oleh sifat masuk dan keluarnya ITCZ ke wilayah Indonesia dari barat laut menuju tenggara dan sebaliknya yang mengikuti kontras sebaran benua dan samudra, (Aldrian, 2008).

Monsun (*monsoon*) didefinisikan sebagai daerah di mana arah angin yang dominan berbalik arah paling sedikit 120° antara bulan Januari dan Juli (Khromov, 1957). Januari merupakan maksimum musim dingin di BBU dengan suhu rata-rata terendah di BBU dan Juli adalah maksimum musim panas dengan suhu rata-rata tertinggi di BBU. Ramage (1971) juga menyebutkan bahwa definisi monsoon dengan menambahkan kriteria kekuatan angin (*wind strength*) dan mengidentifikasi daerah-daerah yang meliputi Afrika, Asia, dan Australia sebagai daerah yang memenuhi kriteria angin yang berbalik arah dan kriteria hujan monsoon. Definisi modern dari monsun sebagaimana yang diusulkan oleh Wang *et al.* (2001) memakai sifat kontras antar benua dan samudra. Prinsip ini dipakai Wang *et al.* (2001) untuk definisi indeks dari Monsun India yaitu memakai dua kotak aliran angin zonal pada ketinggian level 850 hPa di tengah sub kontinen India dan di laut Arab atau sebelah barat laut samudra Hindia. Untuk wilayah Indonesia, hingga saat ini belum ada definisi indeks monsun yang dipakai, salah satu penyebabnya adalah ada beberapa tipe monsoonal di benua maritim dan sifat

lokal yang sangat mempengaruhi variabilitas iklim akibat orografis dan rupa bumi (Aldrian, 2008).

Angin memiliki peran untuk mendistribusikan panas (heat) dipermukaan bumi melalui proses adveksi massa air hangat ke massa air dingin dan sebaliknya. Selain itu, transfer energi panas melalui panas laten terjadi ketika air laut menguap ke atmosfer dan berkondensasi dengan lingkungan yang lebih dingin. Angin memiliki pergerakan secara horizontal yang disebut sebagai adveksi dan pergerakan vertikal, yang disebut sebagai konveksi. Pergerakan horizontal angin disebut adveksi sedangkan pergerakan vertikal disebut konveksi. Proses pergerakan angin secara konveksi dapat terjadi dengan skala kecil hingga besar dalam bentuk siklon atau badai tropis.

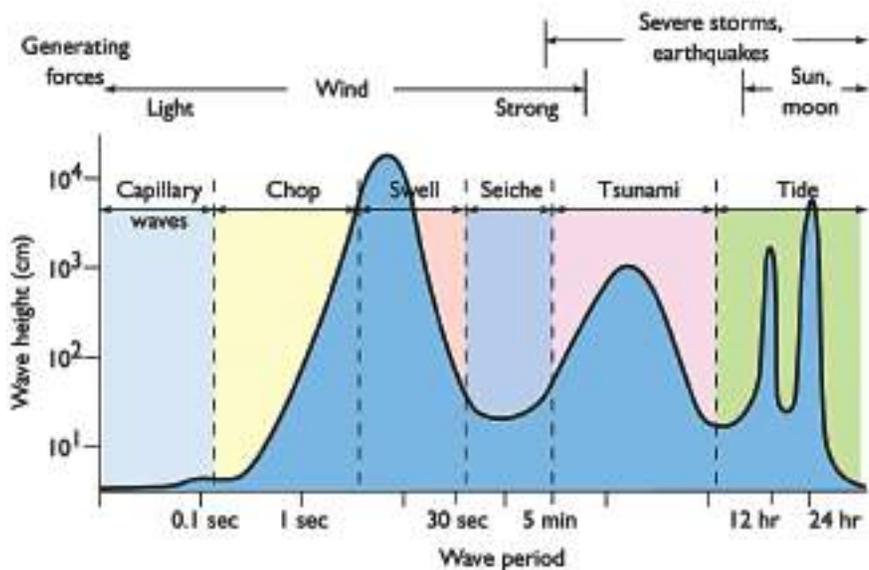
Angin yang berhembus di atmosfer berpengaruh pada proses pergerakan arus laut permukaan hingga pada kedalaman kurang dari sekitar 200 m. Pengaruh pola monsoonal juga terlihat pada pergerakan arus laut yang diakibatkan oleh pergerakan musiman dari titik kulminasi matahari yang berdampak pada terjadinya perubahan distribusi ikan pada kedua musim tersebut. Adanya perubahan penurunan suhu laut permukaan pada musim kemarau menyebabkan beberapa jenis ikan perairan dalam naik ke level kedalaman laut yang lebih tinggi. Pada saat musim kemarau, kondisi lautan jauh terlihat lebih tenang sehingga mengakibatkan tingkat turbiditas yang rendah sehingga ikan banyak menyukai daerah dengan kondisi tersebut. Oleh karena itu, pada saat musim kemarau, potensi tangkap perikanan lebih tinggi dibandingkan saat musim hujan.

Badai tropis merupakan istilah lain dari siklon tropis (*tropical cyclone*). *Hurricane* merupakan sebutan untuk siklon tropis di Samudra Pasifik Selatan, Samudra Pasifik Timur Laut, dan Samudra Atlantik Utara yang mempunyai kecepatan angin maksimum lebih dari 64 knot (119 km/jam). Sedangkan *typhoon* atau topan adalah *hurricane* yang terjadi di Samudra Pasifik Barat Laut. Menurut klimatologinya, wilayah Indonesia yang terletak di sekitar garis katulistiwa termasuk wilayah yang tidak dilalui oleh lintasan siklon tropis. Namun demikian banyak juga siklon tropis yang terjadi di sekitar wilayah Indonesia, dan memberikan dampak tidak langsung pada kondisi cuaca di Indonesia. Contohnya saja, siklon tropis Rosie pada tahun 2008 yang terbentuk di sebelah barat Banten, siklon tropis Kurrily yang terbentuk di sekitar Kepulauan Aru, siklon tropis Inigo, yang pada saat masih berupa bibit siklon sempat melintasi Nusa Tenggara dan badai tropis Vamei pada tahun 2001, yang diklaim sebagai badai tropis yang terbentuk paling dekat dengan khatulistiwa yaitu di sekitar semenanjung Malaka, tepatnya pada koordinat 1.5° LU, (<http://web.meteo.bmkg.go.id/>). Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG) mendeteksi adanya siklon tropis Riley di selatan perairan Laut Timor, Kamis, 24 Januari 2019, meskipun bergerak menjauhi wilayah Indonesia, sejumlah daerah diperkirakan akan terkena dampaknya, (<https://tekno.tempo.co/read/1168405/ada-siklon-tropis-riley-ini-dampaknya-ke-indonesia/full&view=ok>).

Hingga saat ini, perkembangan siklon tropis yang memasuki sekitar perairan Indonesia semakin meningkat intensitasnya. Ukuran siklon tropis sangat besar dan memiliki dampak meluas di sekitar wilayah lintasannya, karena tingginya kecepatan angin dan gumpalan awan yang dimilikinya. Dampak yang ditimbulkan siklon tropis meliputi angin kencang, hujan deras berjam-jam, bahkan sehari-hari yang dapat mengakibatkan terjadinya banjir, gelombang tinggi, dan gelombang badai (*storm surge*) yang berdampak negatif pada lingkungan wilayah pesisir, diantaranya terganggunya aktivitas perikanan dan perkapalan serta transportasi laut (Pranowo *et al.*, 2012). Pusat tekanan rendah pada siklon tropis dan kecepatan angin yang tinggi di daerah lintasan siklon tropis mengakibatkan gelombang tinggi, gelombang badai atau *storm surge* yang berupa perpindahan massa air laut yang terbawa hingga ke wilayah pesisir sehingga meningkatnya tinggi muka laut seperti air pasang tinggi yang datang tiba-tiba, hujan deras serta angin kencang. Selain itu, siklon atau badai tropis juga dipercaya sebagai media transpor jumlah energi panas dalam jumlah besar menjauh dari lautan khatulistiwa dalam bentuk energi panas laten yang terbawa ke daerah lintang tinggi.

4.5. Gelombang Laut

Gelombang di laut cukup beragam. Mulai dari gelombang berperiode pendek, gelombang periode panjang, hingga gelombang dengan periode yang unik. Gelombang di laut tersebut dibangkitkan oleh berbagai sumber pembangkit, seperti angin, gempa, badai/siklon tropis, gaya tarik bulan dan matahari. Gelombang yang dibangkitkan oleh angin umumnya mempunyai periode dari 0,1 detik hingga lebih dari 5 menit (Holthuijsen, 2007). Gelombang yang

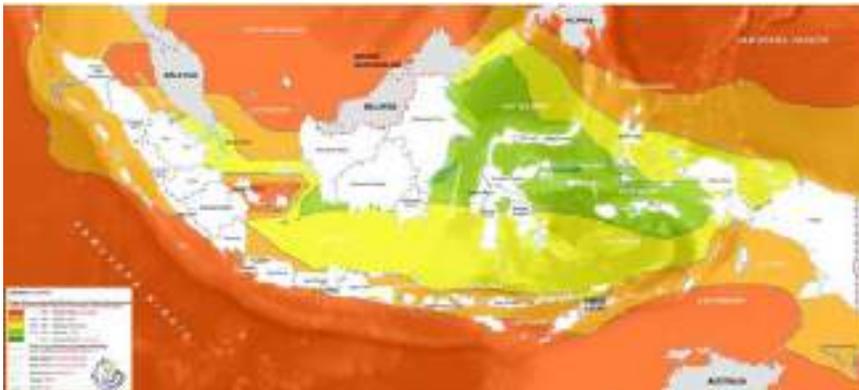


Gambar 67. Berbagai jenis gelombang di laut berdasarkan periode dan tenaga pembangkitnya (Photo credit: Holthuijsen, 2007).

dibangkitkan oleh angin ekstrim seperti badai atau siklon tropis mempunyai periode kurang dari 5 menit hingga lebih dari 24 jam. Demikian halnya dengan gelombang tsunami yang dibangkitkan oleh gempa (Pranowo, 2010; Muliati *et al.*, 2018). Sedangkan gelombang periode panjang yang diakibatkan oleh gaya gravitasi bulan dan matahari mempunyai periode 6 hingga lebih dari 24 jam (Holthuijsen, 2007), lihat Gambar 67.

A. Gelombang Angin

Gelombang angin yang dimaksud disini adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin secara normal, bukan angin ekstrim. Gelombang ini mempunyai periode antara 0,1 detik hingga lebih dari 5 menit (Holthuijsen, 2007; Jamalludin *et al.*, 2016; Muliati *et al.*, 2018). Selain periode gelombang, hal yang penting untuk diketahui adalah tinggi gelombang. Tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*, SWH) adalah rata-rata tinggi gelombang (dari puncak ke lembah) dari sepertiga gelombang laut tertinggi (Anggara *et al.*, 2018). Karakteristik tinggi gelombang signifikan penting diketahui untuk mengkaji kerentanan pesisir. Semakin tinggi gelombang signifikan maka akan meningkatkan kerentanan suatu pesisir pantai untuk teraberasi. Berdasarkan hasil penelitian Badan Riset Kelautan dan Perikanan (BRKP, 2009), pesisir yang terpapar atau berhadapan dengan samudra luas dengan tinggi gelombang signifikan rata-rata lebih dari 2,5 meter, maka pesisir tersebut adalah sangat rentan, lihat Gambar 68.



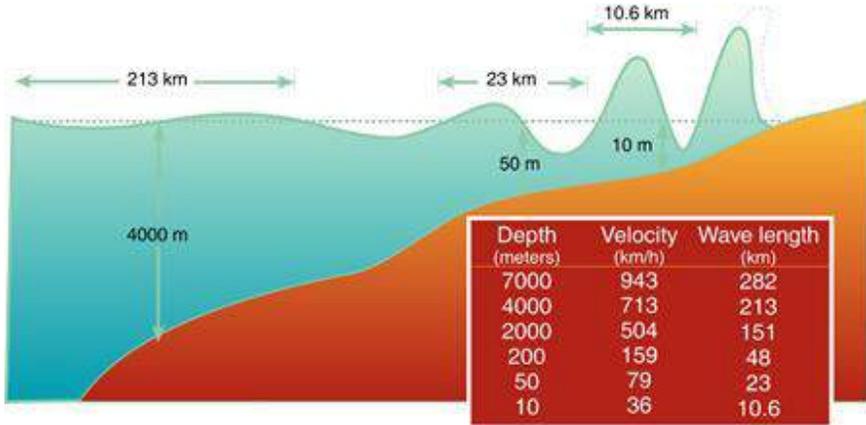
Gambar 68. Tinggi gelombang signifikan dan tingkat kerentanan yang ditimbulkannya (BRKP, 2009).

Secara umum, pesisir Indonesia yang berhadapan dengan Samudra Hindia lebih tinggi gelombang signifikannya dibandingkan dengan pesisir Indonesia yang berhadapan dengan Samudra Pasifik karena pengaruh faktor area pembangkitan gelombang oleh angin yang lebih terbuka luas.

B. Gelombang Tsunami

Tsunami adalah suatu gelombang unik mempunyai periode gelombang bervariasi dari 5 menit hingga lebih dari 6 jam, dengan kecepatan seperti

Gambar 69. Ilustrasi perubahan panjang dan kecepatan gelombang tsunami ketika menjalar dari perairan dalam menuju ke perairan dangkal hingga membanjiri daratan (IOC, 2016).

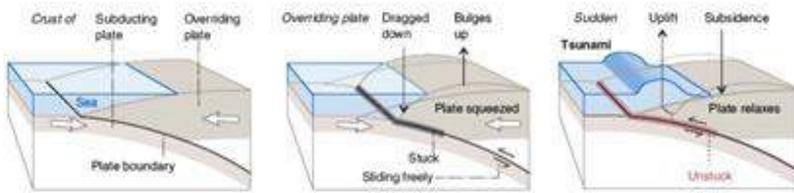


pesawat Jet (700-800 km/jam), berbentuk gelombang panjang pada laut yang dalam, namun kemudian berubah menjadi gelombang yang super pendek ketika menjalar di perairan dangkal, dan berubah menjadi dinding air ketika menjalar membanjiri ke daratan pesisir (IOC, 2016), lihat Gambar 69.

Gelombang Tsunami ini bisa muncul oleh gempa tektonik yang pusat gempanya berada di bawah dasar laut, lihat Gambar 70; dapat pula dibangkitkan oleh longsor dinding dasar laut; dapat pula dibangkitkan oleh letusan gunung api bawah laut; jatuhnya meteor atau asteroid dengan mega massa yang sangat berat ke dalam laut (Atwater, 2005; Pranowo, 2010).

Secara umum Indonesia merupakan wilayah yang rentan terhadap gempa dan tsunami, karena berada pada kawasan cincin api dunia (*ring of fire*). Adapun syarat terjadinya tsunami antara lain, terjadi gempa dengan kekuatan antara Mw 6,9 hingga Mw 9,0 dengan mekanisme terlepasnya energi ke badan air dari lempeng lantai samudra yang menunjам ke lempeng benua (*dip-slip*), dengan kedalaman pusat gempa (*focal depth*) antara 10 – 30 km, dengan pusat gempa berada di dasar laut (Pranowo, 2010).

Tsunami berdasarkan jarak sumbernya, terdapat tsunami jarak dekat dan tsunami jarak jauh. Secara umum tsunami di Indonesia adalah berjarak dekat bagi pulau-pulau Indonesia, namun dapat sebagai tsunami jarak jauh bagi negara pantai/ negara kepulauan yang berjarak jauh dari Indonesia namun masih terhubung dengan lautnya. Contohnya adalah Mega Tsunami Aceh 2004, merupakan tsunami jarak dekat bagi Banda Aceh dan sekitarnya, namun merupakan tele-tsunami bagi Thailand, Madagaskar, Seychelles, Maladewa, dan Sri Lanka. Tanda-tanda Tsunami jarak dekat dapat diidentifikasi dari gempa yang dirasakan lebih dari 10 menit di kawasan pesisir, dan muka laut menyurut drastis. Maka sebaiknya segera menyingkir menjauh dari pantai, dan/atau mencari bangunan tinggi kokoh yang tidak roboh oleh gempa sebagai evakuasi vertikal. Justru yang tersulit adalah tele-tsunami, di mana tidak terasa gempanya dangkal dan lokasi pusat gempa



Gambar 70.

Ilustrasi terjadinya tsunami, dari gambar kiri ke kanan: Lempeng lantai samudra bergerak menunjam secara sangat perlahan ke bawah lempeng benua. Penunjaman tersebut menarik bagian bawah dalam lempeng lantai benua masuk menuju ke arah tunjaman sehingga terjadi perubahan tekanan pada lempeng benua. Hingga pada suatu saat, kelembabaman lempeng benua terlampaui sehingga energi tekanan dilepaskan ke badan laut yang menghasilkan gelombang tsunami (*Photo credit: Atwater et al., 2005*).

jauh, lalu tiba-tiba datang gelombang tsunami yang menjalar dengan sangat cepat dari laut menuju ke darat, menyapu semua yang ada di darat tanpa terkecuali (Pranowo, 2010).

C. Gelombang pasang surut

Gelombang di laut berperiode panjang yakni antara 6 hingga lebih dari 24 jam yang yang berpengaruh terhadap segala aktivitas makhluk hidup adalah pasang surut (Holthuijsen, 2007). Pasang merujuk kepada naiknya muka air laut yang sering disebut dengan *flood* dan kebalikannya disebut dengan surut (*ebb*). Fenomena ini paling sering dilihat di tepi pantai dikarenakan dapat diacu pada daratan. Namun sebaliknya, bahwa pasang-surut dapat terjadi di mana saja, termasuk pada perairan darat.

Pasang surut akan dipengaruhi oleh keadaan/sifat perputaran bulan, bumi, dan matahari di mana Bumi mengalami rotasi sendiri (berputar terhadap sumbunya) sekitar 24 Jam. Bulan sebagai satelit bumi juga mengelilingi bumi dalam waktu 29,5 hari dan membentuk sistem elips terhadap bumi. Bumi dan Bulan (rotasi dan revolusi) juga mengelilingi matahari dalam bentuk elips (*apogee* dan *perigee*) dalam satu siklus adalah 365,25 hari. Jalurnya tidak sama untuk setiap siklus. Untuk mencapai titik awal siklus diperlukan waktu 18,6 tahun (Purba & Pranowo, 2015).

Pasang dan surut yang terjadi akan mempengaruhi aktivitas manusia dan biota laut. Pasang dan surut berbeda-beda tergantung pada wilayah dan di perairan Indonesia. Sebagai negara yang berada di ekuator Indonesia mempunyai kisaran pasang sekitar 0,2 - 4 meter (Gultom *et al.*, 2017). Namun di negara lintang tinggi dapat mencapai 10 meter (Holthuijsen, 2007). Oleh karena itu, di negara subtropik peranan pasang-surut akan memberikan dampak pada pembangunan pantai dan aktivitas manusia disekitarnya (Purba & Pranowo, 2015).

Indonesia merupakan laboratorium pasang surut yang lengkap karena memiliki 4 tipe pasang surut utama yang ada di dunia (Pranowo & Wirasantosa, 2011). Untuk itu tipenya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan *Formzahl* (F). Untuk Indonesia sendiri, beberapa tipe pasang surut antara lain ada yang semidiurnal, campuran cenderung ke semidiurnal, diurnal, dan campuran cenderung ke diurnal (Wyrтки, 1961).

Semidiurnal di mana pada grafik terlihat dua tinggi pasang yang sama tinggi dan surut mempunyai pola yang sama. Diurnal di mana terdapat satu pasang tinggi dan satu pasang rendah. Faktor F digunakan untuk menentukan jenis pasang surut dengan rumusan:

Tabel 13.
Tabel kategori
pasang surut
(Wyrтки, 1961).

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

Keterangan:

M2 dan **O1** dipengaruhi oleh bulan dan **S2** dan **K1** dipengaruhi oleh matahari

K1 (diurnal solar) dimana 1 solar day = 24 jam

O1 (diurnal lunar) dimana 1 lunar day = 24 jam 50 menit

M2 (semidiurnal lunar) dimana $\frac{1}{2}$ lunar day = 12 jam 25 menit

S2 (semidiurnal solar) dimana $\frac{1}{2}$ solar day = 12 jam

Nilai F	Kategori
0-0.25	Semidiurnal
0.25-1.5	Campuran, cenderung semidiurnal
1.5-3	Campuran, cenderung diurnal
>3	Diurnal

4.6. Interaksi Laut Atmosfir

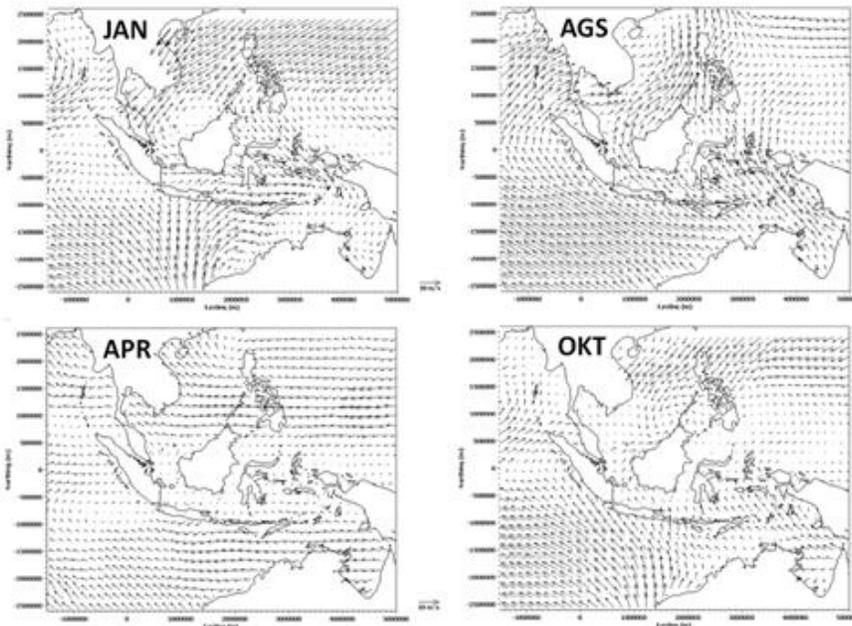
Perbedaan tekanan di atmosfer dan antar lapisan atmosfer akan membangkitkan angin. Pergerakan angin yang dekat dengan permukaan laut akan membangkitkan pergerakan arus. Kondisi batimetri atau kedalaman laut yang bervariasi dari yang dangkal hingga laut dalam, mengakibatkan penetrasi energi cahaya matahari akan semakin berkurang ketika menuju ke laut dalam, sehingga kolom laut memiliki berbagai lapisan suhu laut tertentu. Suhu laut ini bersama kadar garam laut (salinitas) melakukan kopling membentuk karakteristik massa air di setiap kedalaman yang berbeda. Massa air laut ini akan mengalir dari laut satu ke laut yang lain, dan dari samudra yang lain.

A. Arus permukaan

Laut Indonesia merupakan bagian percabangan penting dari sirkulasi arus permukaan global. Sirkulasi arus di wilayah laut Indonesia Barat didominasi oleh Arus *Monsoon* Indonesia (ARMONDO), sedangkan di wilayah laut Indonesia Timur didominasi oleh Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) (Purba & Pranowo, 2015).

ARMONDO lebih dibangkitkan oleh kondisi angin monsoon/musim yakni musim Barat dan Musim Timur, sedangkan ARLINDO dibangkitkan oleh aliran massa air dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia melewati Laut Indonesia (Supangat *et al.*, 2006).

Mengulas kondisi angin musim di Indonesia, lihat Gambar 71, secara umum angin adalah aliran fluida gas akibat perbedaan kerapatan massa jenis fluida gas akibat penerimaan energi surya yang bervariasi secara spasial di kawasan Asia-Pasifik. Posisi matahari yang melintasi ekuator dua kali setiap tahun mengakibatkan adanya 4 (empat) pola angin yang membangkitkan arus permukaan di Indonesia (Mustikasari *et al.*, 2015). Pada saat kedudukan matahari di atas belahan bumi utara menyebabkan tekanan rendah di belahan bumi utara di Asia dan tekanan tinggi di belahan bumi selatan di Australia. Keadaan tersebut menyebabkan terjadinya angin yang bergerak dari Australia menuju Asia yang dikenal sebagai Angin Passat tenggara (*Southeast Trade Wind*). Begitu pun sebaliknya, pada saat posisi matahari di atas belahan bumi selatan menyebabkan tekanan tinggi di belahan bumi utara di Asia dan tekanan rendah di belahan Bumi Selatan di Australia. Keadaan ini menyebabkan terjadinya angin yang bergerak dari Asia menuju Australia yang dikenal dengan Angin Pasat Timurlaut (*Northeast Trade Wind*).

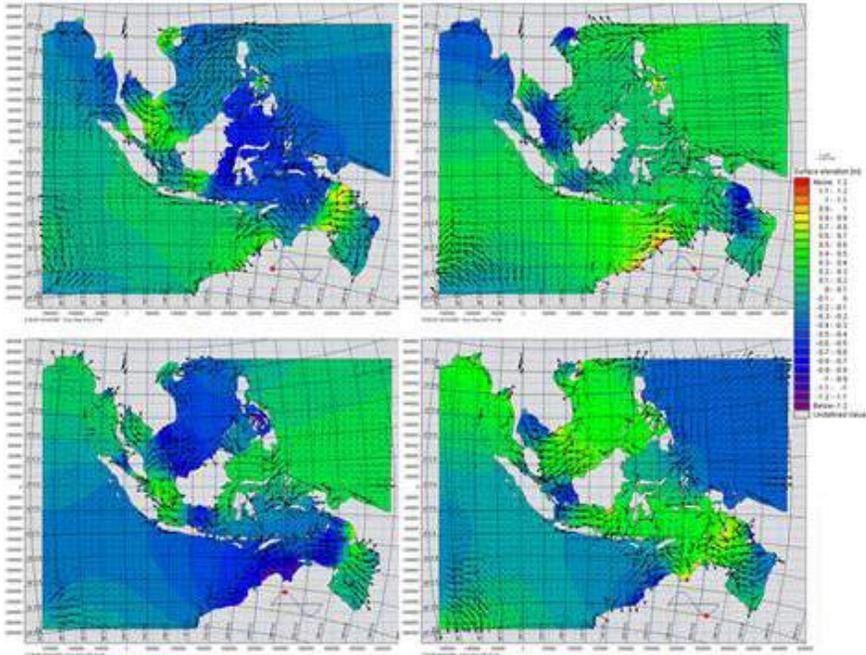


Gambar 71. Pola angin monsoon/musim di Indonesia, pada Monsoon Barat (Januari), Musim Peralihan I (April), Musim Timur (Agustus), dan Musim Peralihan 2 (Oktober) (Photo credit: Mustikasari *et al.*, 2015).

Mustikasari, E., L.C. Dewi, A. Heriati, & W.S. Pranowo. *J. Segara*, Vol. 11, No. 1 (2015): 25-35.

Keadaan arus laut permukaan di perairan Indonesia sangat dipengaruhi oleh Musim Barat dan Musim Timur. Kondisi arus laut permukaan pada Musim Barat diwakili oleh arus pada bulan Pebruari dan kondisi pada musim Timur diwakili oleh kondisi arus pada bulan Agustus (Mustikasari *et al.*, 2015). Kedua bulan tersebut merupakan puncak dari kondisi masing-masing musim, lihat Gambar 72.

Gambar 72.
Pola arus monsoon/musim di Indonesia, pada Monsoon Barat (Januari), Musim Peralihan I (April), Musim Timur (Agustus), dan Musim Peralihan 2 (Oktober) (Photo credit: Mustikasari *et al.*, 2015).

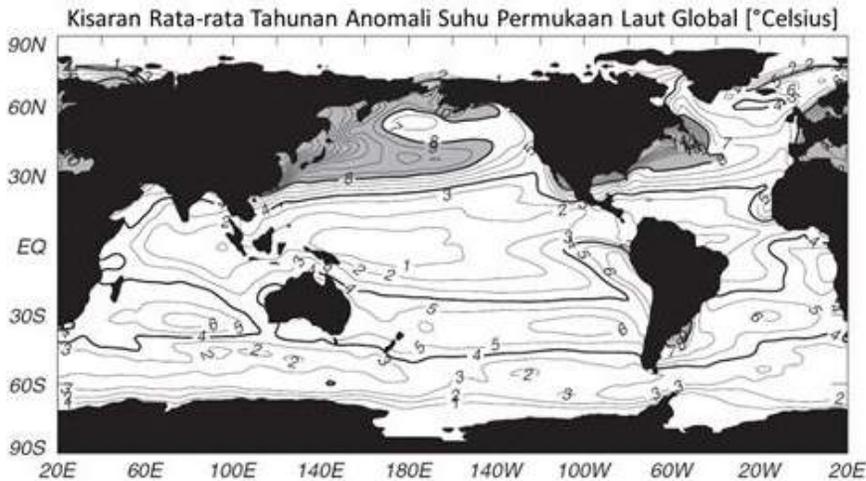


Mustikasari, E., L.C. Dewi, A. Heriani, & W.S. Pranowo. *J. Segara*, Vol. 11, No. 1 (2015): 25-35.

B. Variabilitas Suhu Permukaan Laut

Suhu Permukaan Laut (SPL) atau *Sea Surface Temperature (SST)* adalah ukuran energi akibat dari pergerakan molekul di lapisan atas lautan. SST merupakan salah satu properti laut yang terpenting selain salinitas, karena keduanya dapat berperan sebagai pembangkit pergerakan vertikal air laut akibat perbedaan densitas (Purba & Pranowo, 2015). Variasi SST pada umumnya dipengaruhi oleh radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi (insolasi), yang tidak dapat diserap semuanya. Sebagian radiasi yang dikembalikan dari permukaan bumi akan diserap oleh atmosfer dan kemudian digunakan untuk memanaskannya. Permukaan bumi juga dipanaskan oleh radiasi yang diserap serta membalikkan kembali radiasi infra merah dan gelombang panjang (*micro-wave*). Hal inilah yang menyebabkan variasi

diurnal (harian) temperatur di darat dan di lautan yang biasanya diukur dalam derajat. Variasi suhu global di lautan besarnya tidak lebih dari beberapa derajat bila dibandingkan dengan di darat kecuali di perairan yang sangat dangkal (Gambar 73). Jika rentang temperatur di lautan kira-kira mencapai 40°C (atau sekitar 30oC jika tidak termasuk laut dangkal dan sempit), maka rentang temperatur di darat adalah tiga kali lebih besar.

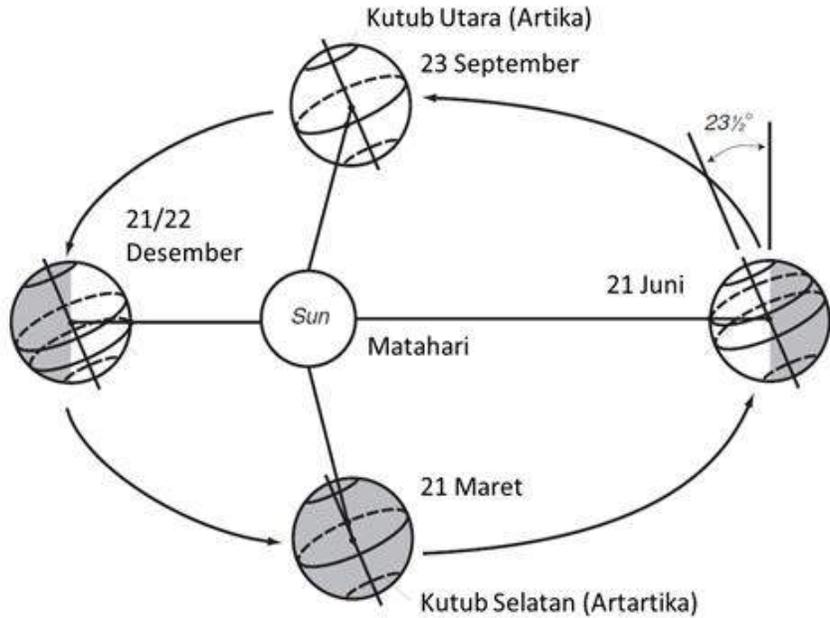


Gambar 73.
Kisaran rata-rata tahunan anomali suhu permukaan laut global
(Photo credit: Stewart, 2002).

The Open University Oceanography Course Team (The Open University, 2001) pernah menyampaikan laporan beberapa fakta terkait suhu udara dan suhu laut, baik yang ekstrim maupun normal, yang pernah terjadi di dunia. Disebutkan, suhu udara terpanas yang pernah terukur di bumi adalah 58 °C di Libya pada 1992; terukur suhu maksimum laut dangkal berkisar 35 - 42 °C; terukur maksimum rata-rata suhu Laut Merah adalah 30 °C; rata-rata suhu permukaan bumi (laut dan darat) di kawasan kathulistiwa adalah 27,5 °C; kisaran suhu laut minimum terumbu karang masih bisa hidup adalah 20-22 °C; rata-rata suhu es di lapisan permukaan kutub selatan adalah -1,33 °C, sedangkan lapisan es dibawah permukaan rata-rata bersuhu -1,65 °C; suhu terendah di mana penguin di kutub masih bisa berkembang biak adalah -18 hingga -62 °C; sedangkan suhu udara terendah yang pernah terukur di bumi adalah -62 °C di Siberia pada tahun 1892.

Variasi temperatur di permukaan bumi dipengaruhi oleh intensitas insolasi, yang utamanya tergantung pada sudut di mana sinar matahari mengenai permukaan (Gambar 74). Selain itu, distribusi temperatur di permukaan bumi juga bervariasi terhadap lintang dan musim karena sumbu bumi mengikuti orbitnya mengitari Matahari. Gambar 73 menunjukkan

Gambar 74. Posisi Bumi berevolusi terhadap Matahari terkait penerimaan sinar matahari. Sudut Matahari terhadap permukaan Bumi menentukan jarak yang harus dilalui sinar matahari melalui atmosfer dimana energi akan disebarkan. Indonesia terletak di antara 23,5°LU dan 23,5°LS sehingga setiap saat, sepanjang tahun, akan mendapatkan sinar matahari (Photo credit: Stewart, 2002).



bahwa intensitas insolasi maksimum terjadi di sepanjang Ekuator (Ekuinoks) yaitu pada bulan Maret dan September ketika posisi matahari berada tepat diatas kepala pada tengah siang hari. Di ekuator, insolasi tetap tinggi pada bulan-bulan lainnya selama tahun tersebut. Pada saat tengah hari, Matahari tepat berada di atas kepala sepanjang *Tropics of Cancer* dan *Capricorn (solstice)* pada bulan Juni dan Desember (Stewart, 2002). Dengan demikian, di daerah lintang sedang akan menerima insolasi maksimum pada saat musim panas dan menerima insolasi minimum pada saat musim dingin. Sedangkan di daerah kutub, hanya memiliki insolasi sekitar setengah tahun, dengan kondisi cerah dalam sehari penuh selama musim panas dan kondisi gelap sehari penuh selama musim dingin.

(b) Empat musim (untuk Belahan Bumi Utara - BBU) yang berkaitan dengan orbit Bumi mengelilingi Matahari. Kemiringan Sumbu Bumi sekitar 23,4o terhadap bidang *ellips* orbit yang mengitari Matahari sehingga pada saat musim panas di BBU dan soltice musim dingin, pada tengah hari Matahari berada di atas kepala, di *Tropis of Cancer* (~23 oLU) dan Capricorn (~23 oLS), sementara itu matahari berada di atas kepala di Ekuator pada ekuinoks, musim semi dan gugur. (*The Open University*, 2001; Stewart, 2002).

Pengukuran SST tergantung pada sensor yang digunakan. Pada pengukuran SST dari ruang angkasa dilakukan dalam suatu periode tertentu (setiap beberapa hari hingga seminggu). Suhu diukur pada lapisan air laut pada kedalaman sekitar 10 μm di bawah permukaan (*infrared bands*) hingga kedalaman 1mm (*microwave bands*) menggunakan radiometer (Adi *et al.*, 2014).

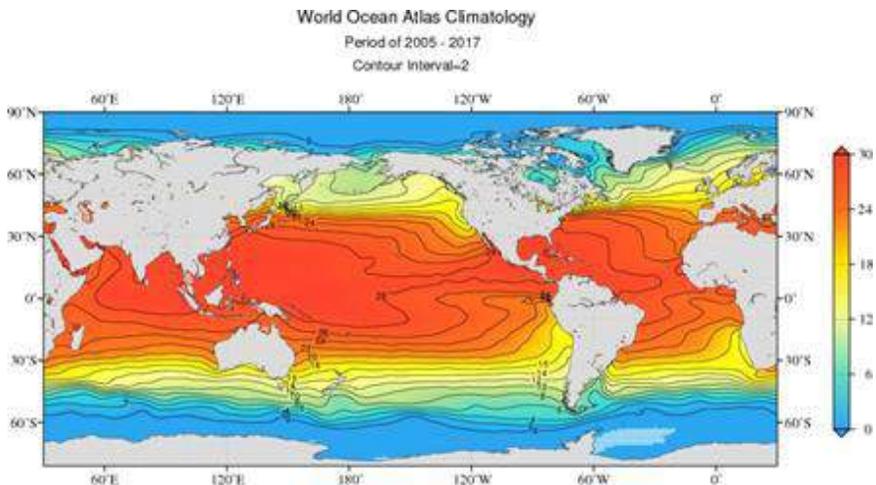
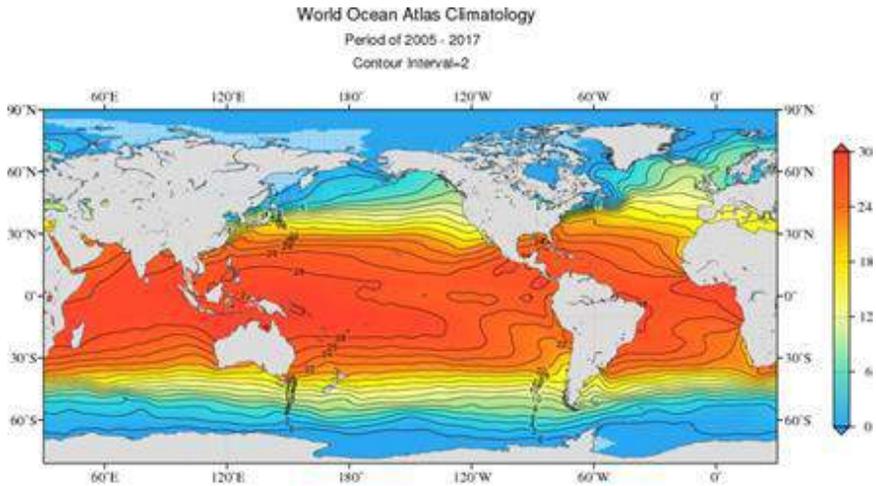
Perkembangan pengukuran SST terjadi sangat pesat. Sebelum tahun 1980-an pengukuran SST dilakukan dengan menggunakan instrumen yang berada di *shoreline*, kapal (*ship*) dan *buoy* (Pranowo *et al.*, 2006). Pengukuran SST ini dilakukan dengan mengukur air laut yang mengalir melalui kanal input (input port) kapal di pelabuhan. Metode ini diklaim mampu memperoleh data SST yang signifikan, namun masih terdapat beberapa kekurangannya. Hal ini dikarenakan perbedaan kedalaman input port kapal sangat bervariasi dari masing-masing kapal dan stratifikasi *ocean* pada kedalaman tersebut dapat mempengaruhi perbedaan temperature (Pranowo *et al.*, 2005).

Beranjak dari hal tersebut, sejak tahun 1980-an, pengukuran SST mulai dilakukan melalui pengamatan satelit, sehingga diperoleh informasi tentang SST global di seluruh lautan dunia (Adi *et al.*, 2014). Instrumen pengukuran SST antara lain: *Spectroradiometer on-board Imaging Resolution Resolution* (MODIS), satelit Terra dan Aqua milik NASA yang mengorbit Bumi kira-kira 14 kali sehari. Dengan demikian pengamatan SST akan diperoleh pengumpulan data yang lebih beragam dalam periode waktu tertentu dan skala global daripada semua pengukuran SST dengan menggunakan metode lama yang diambil sebelum era satelit (Purba & Pranowo, 2015).

Lautan dan sebagian besar objek lainnya memancarkan radiasi dalam gelombang inframerah dan gelombang mikro. Amplitudo dari panjang gelombang ini bervariasi dengan suhu lautan, sehingga dapat digunakan sebagai parameter untuk pengukuran SST. Sensor satelit dapat mengukur pada *band* ini dari luar angkasa. Radiasi infra merah lautan berasal dari 10 mikron permukaannya. Radiasi gelombang mikro dihasilkan dari 1-milimeter lapisan teratas. Sensor satelit inframerah memiliki resolusi spasial yang lebih baik namun lebih rentan terhadap gangguan awan daripada *microwave*. Hal ini dikarenakan absorpsi lautan terhadap energi infra merah yang dipancarkan oleh awan. Tingkat sensitivitas dan presisi sensor mencapai $\pm 0,10\text{C}$, bahkan lebih baik lagi dengan akurasi yang semakin meningkat seiring dengan adanya koreksi untuk faktor-faktor seperti kondisi permukaan laut (halus atau kasar) dan jumlah uap air di atmosfer (uap air yang menyerap radiasi infra merah). Informasi variasi SST seperti dalam Gambar 75 dapat diperoleh secara terus-menerus, dan bagi kalangan oseanografer informasi variasi SST ini sangat penting dibandingkan dengan nilai absolutnya. Penting untuk diingat bahwa variasi SST merupakan informasi tentang permukaan laut saja. Instrumen berbasis satelit tidak bisa memantau struktur suhu terkait dengan kedalaman lautan. Saat ini, selain pengukuran SST melalui satelit, juga dilakukan dengan menggunakan kapal dan *buoy* yang terpasang di lautan yang bertujuan untuk memvalidasi instrumen satelit selain pengambilan sampel di seluruh kolom air.

Keberadaan era teknologi satelit untuk pengamatan SST membawa perubahan yang sangat signifikan. Dengan memasang sensor infrared maka SST dapat dipantau dalam wilayah luas skala global, baik secara musiman maupun dari tahunan. SST rata-rata klimatologi musiman yang diperoleh

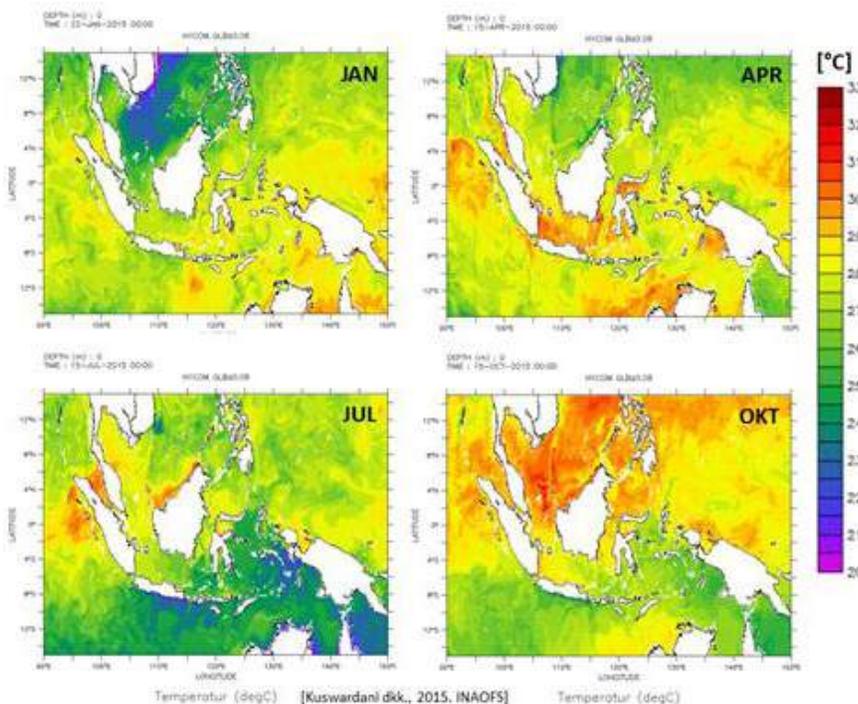
Gambar 75. Variasi suhu permukaan laut (sea surface temperature, SST) global rata-rata klimatologi 2005-2017 (Garcia *et al.*, 2019).



dari WORLD OCEAN ATLAS 2018 (WOA18), lihat Gambar 75. Terlihat adanya perbedaan variasi SST global musiman yang cukup jelas secara temporal dan spasial (Garcia *et al.*, 2019). Variasi SST di daerah tropis lebih tinggi dibandingkan SST di daerah dengan lintang yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan radiasi matahari yang diterima daerah tropis lebih tinggi dan berlangsung terus selama tahunan. Secara temporal variasi SST terlihat selama musim dingin (winter), Januari-Maret, di Belahan Bumi Utara (BBU) mengalami kondisi yang sangat dingin dengan SST maksimum mencapai 60C yang terlihat lebih meluas hingga memasuki wilayah dengan 300LU, sedangkan pada saat musim panas, di Belahan Bumi Selatan (BBS) SST

maksimum mencapai sekitar 180C meluas hingga daerah dengan 300LS. Perubahan musiman variasi SST ini terkait dengan variasi insolasi (Garcia *et al.*, 2019).

Variabilitas SST di lautan Indonesia terkait dengan variabilitas SST global di mana SST bervariasi secara spasial dan temporal. Variasi SST musiman di lautan Indonesia dapat direpresentasikan dengan SST bulan Januari, April, Juli dan Oktober, seperti pada Gambar 76 (Kuswardani *et al.*, 2015). Pada bulan Januari, bertepatan dengan musim dingin di BBU atau musim *monsoon* barat (musim hujan) di Indonesia di mana angin dominan merupakan angin *monsoon* barat Asia, variasi SST di lautan Indonesia cenderung lebih rendah dibandingkan dengan SST pada bulan-bulan lainnya (Pranowo, 2014b). Pada umumnya SST di lautan Indonesia bagian barat hingga utara cenderung lebih rendah dibandingkan dengan SST di lautan Indonesia bagian timur. Bahkan, SST di Laut Cina Selatan hingga ke Selat Karimata tercatat memiliki suhu terendah pada periode musim ini (Sagala *et al.*, 2014; Kuswardani & Qiao, 2014). Sementara itu, SST di lautan Indonesia bagian Timur mulai dari Samudra Pasifik, Laut Banda, Laut Flores, Laut Arafuru hingga Samudra Hindia bagian selatan hingga Timur memiliki suhu yang lebih tinggi (Pranowo *et al.*, 2005; Gordon *et al.*, 2013; Teliandi *et al.*, 2013). Pada periode Musim Transisi I, Maret-April-Mei (MAM), yang salah satunya direpresentasikan dengan SST bulan April, terlihat variasi SST cenderung lebih tinggi dibandingkan bulan-bulan lainnya dan hanya



Gambar 76. Variasi suhu permukaan laut (*sea surface temperature*, SST) di Lautan Indonesia pada 2015 monsoon barat (Januari), monsoon peralihan 1 (April), monsoon timur (Juli), monsoon peralihan 2 (Oktober) (Kuswardhani *et al.*, 2015).

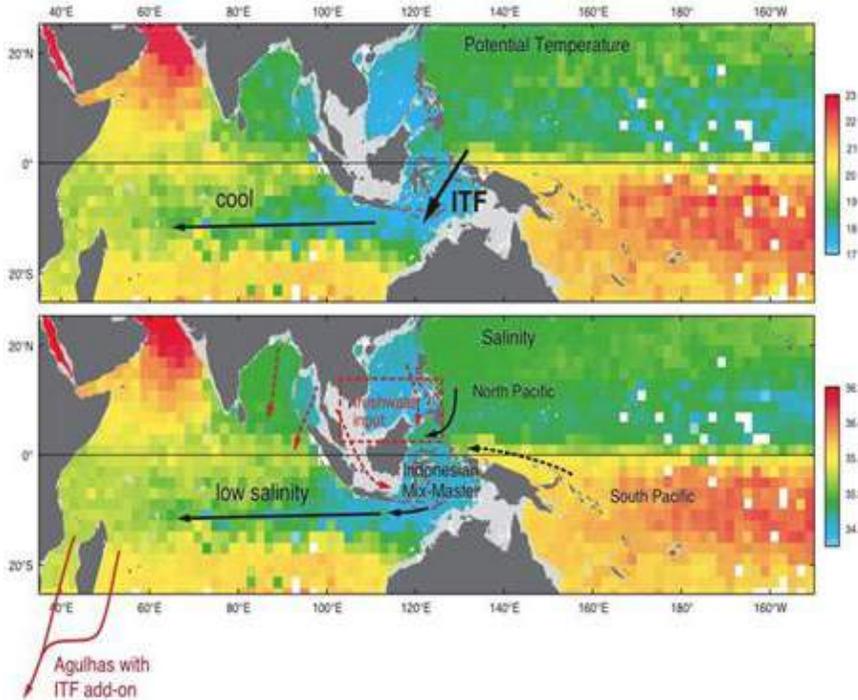
terkonsentrasi pada daerah di sekitar ekuator. Hal ini juga terkait dengan pola pergerakan matahari mendekati di ekuator pada periode tersebut. Pada bulan Juli, bertepatan dengan musim panas di BBU, monsoon dingin Australia dan musim monsoon Timur (musim kemarau) di Indonesia dengan angin dominan angin *monsoon* timur (Pranowo *et al.*, 2016). Variasi SST cenderung lebih rendah di lautan Indonesia bagian timur daripada bagian barat. SST terendah terjadi di Samudra Hindia bagian selatan hingga timur ke Laut Arafuru dan Laut Banda (Pranowo, 2012; Armansyah *et al.*, 2018). Sementara itu, SST di Samudra Hindia bagian barat, Selat Malaka, Laut Cina Selatan, Selat Karimata hingga Laut Jawa memiliki suhu yang lebih tinggi (Sagala *et al.*, 2014; Siregar *et al.*, 2017; Heryati *et al.*, 2018). Pada bulan Juli bertepatan dengan periode Musim Transisi II, September-Oktober-November (SON), variasi SST di lautan Indonesia pada umumnya cenderung lebih tinggi di bagian utara ekuator daripada bagian selatan ekuator. Hal ini terkait dengan posisi pergerakan matahari yang mendekati ekuator pada saat ekuinok.

C. Massa air

Indonesia merupakan satu satunya negara kepulauan yang berada pada garis khatulistiwa dan menjadi perlintasan arus dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Arus perlintasan tersebut dikenal dengan arus lintas indonesia (*Indonesian Through Flow*), lihat Gambar 76 (Gordon, 2005; Gordon *et al.*, 2008; Gordon *et al.*, 2010). Samudra pasifik memiliki karakteristik oseanografi yang berbeda dengan samudra Hindia. Perbedaan karakteristik oseanografi tersebut dapat dilihat dari profil densitas (massa air laut) pada tiap kedalaman (Purba & Pranowo, 2015). Pada kedalaman termoklin terlihat bahwa Samudra Pasifik memiliki lapisan salinitas dan suhu yang lebih tinggi daripada lapisan salinitas dan suhu di Samudra Hindia (Gambar 77).

Salinitas maksimum dan suhu yang lebih hangat dari Samudra pasifik secara perlahan berubah menjadi salinitas dan suhu yang lebih rendah ketika memasuki perairan Indonesia dan pada akhirnya karakteristik suhu dan salinitas menjadi rendah ketika keluar dari perairan Indonesia menuju ke Samudra Hindia (Wardani *et al.*, 2014). Terjadi sebuah proses fisis yang terjadi pada lapisan termoklin yang mereduksi salinitas dan suhu maksimum dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Hal yang menarik adalah bagaimana proses fisis yang terjadi di lapisan kedalaman lainnya, apakah ada sebuah metode yang lebih mudah untuk melihat penanda karakteristik suhu dan salinitas pada seluruh kedalaman laut (Pranowo *et al.*, 2005; Wardani *et al.*, 2013).

Secara praktis, jika kita mengukur tiap titik vertikal temperatur dan salinitas pada suatu lokasi di laut Indonesia, maka kita dapat membentuk sebuah profil suhu dan salintas yang unik. Nilai dari tiap titik pada profil vertikal suhu dan salinitas dikenal dengan massa air. Massa air dapat menjadi penanda (*signature*) formasi asal dari air laut tersebut maupun sebagai metode

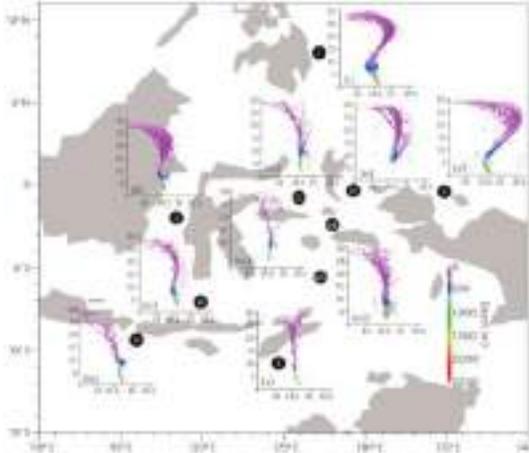


Gambar 77. Karakteristik temperatur dan salinitas di lapisan tercampur (Photo credit: Gordon, 2005).

untuk mempelajari proses pencampuran (*mixing*) dari lapisan tercampur (*mixed layer*) dengan lapisan termoklin, maupun pencampuran pada lapisan termoklin (Purba & Pranowo, 2015).

Untuk mengetahui massa air, dilakukan penelitian oseanografi menggunakan kapal untuk mengukur suhu dan salinitas secara vertikal pada tiap lapisan kedalaman menggunakan instrumen pengukuran (Pranowo *et al.*, 2006). Kegiatan penelitian oseanografi telah banyak dilakukan di Indonesia dan contoh massa air dari hasil pengukuran di wilayah Indonesia timur dapat dilihat pada Gambar 78. Terdapat dua formasi massa air dari Samudra Pasifik yang masuk ke bagian Timur Wilayah Indonesia. Formasi massa air pasifik dari yang masuk dari utara dikenal dengan nama massa air *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) dan formasi massa air pasifik yang masuk dari sebelah timur Indonesia dikenal dengan *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) seperti yang disampaikan oleh Sprintall *et al.*, (2014). Kedua formasi massa air Pasifik memiliki karakteristik salinitas maksimum di lapisan termoklin dan memiliki salinitas minimum pada lapisan bawah termoklin (Purba & Pranowo, 2015). Massa air tersebut secara perlahan kehilangan salinitas dan penurunan suhu ketika memasuki selat Makassar menuju ke selat Lombok dan laut Banda (Gordon *et al.*, 2008).

Sebaliknya, penurunan salinitas secara cepat terjadi di lapisan termoklin di perairan Halmahera dan wilayah Maluku utara sampai ke Laut Banda (Armansyah *et al.*, 2018). Pada akhirnya, profil unik formasi massa air dari

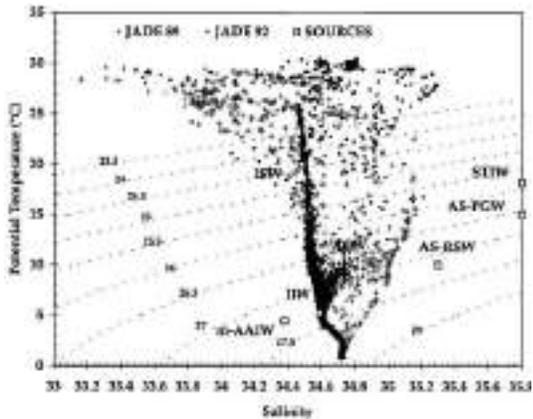


Gambar 78.
T-S Diagram massa air di Perairan Timur Indonesia hasil akuisisi suhu, salinitas, dan kedalaman dari berbagai pelayaran oseanografi di Indonesia (Photo credit: Sprintall *et al.*, 2014).

Pasifik menjadi profil yang lebih homogen secara vertikal ketika memasuki Samudra Hindia (Wardani *et al.*, 2013). Terjadi proses fisis yang kuat yang mentransformasi massa air dari samudra Pasifik ke samudra Hindia dan seluruh proses pencampuran tersebut terjadi di dalam laut Indonesia (Koch larrouy *et al.*, 2007, 2010, 2011; Kartadikaria, 2011; Nugroho, 2017).

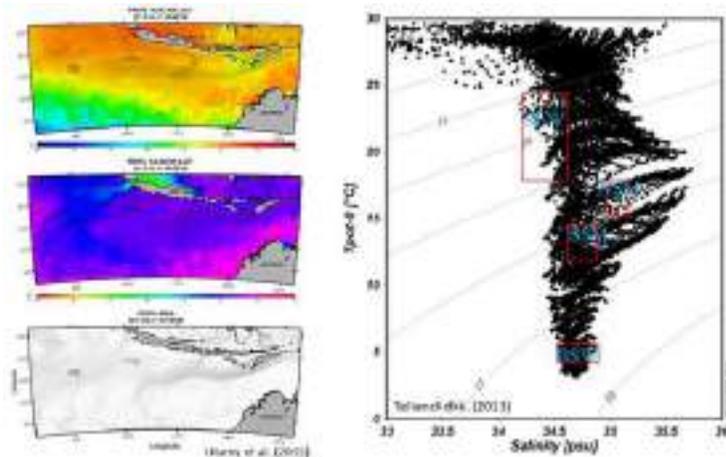
Selain massa air dari Pasifik, Indonesia juga mendapat masukan formasi massa air dari Samudra Hindia pada kedalaman 200-800 meter diantaranya *Subtropical Indian Water* (SIW), *Indian Central Water* (ICW), *Modified Antarctic Intermediate Water* (MAIW), *Indonesian Subsurface Water* (ISW), *Indonesian Intermediate Water* (IIW), *Arabian Sea-Persian Gulf Water* (AS-PGW), dan *Arabian Sea-Red Sea Water* (AS-RSW) (Coatanoan *et al.*, 2011; Teliandi *et al.*, 2013; Sprintall *et al.*, 2014; Utamy *et al.*, 2015; Bayhaqi, 2018), lihat Gambar 79 dan Gambar 80.

Mengetahui massa air yang ada di laut Indonesia menjadi hal yang selalu menarik bagi peneliti dan dunia akademisi. Selain mengetahui pembentukan formasi massa air dan pencampurannya, mengetahui dinamika massa air di laut Indonesia menjadi penting dalam mempelajari iklim global (Sprintall *et al.*, 2014) dan siklus biokimia laut Indonesia (Gutknecht, 2015).



Gambar 79.

T-S Diagram massa air di samudra Hindia berdasarkan suhu, salinitas, dan tekanan yang diukur dari pelayaran oseanografi JADE 1999 (Coatanoan *et al.*, 2011). AAIW (Antarctic Intermediate Water), AS-PGW (Arabian Sea-Persian Gulf Water), AS-RSW (Arabian Sea-Red Sea Water), IHW (Indonesia Intermediate Water), ISW (Ice Shelf Water), STIW (Sub Tropical Indian Water).



Gambar 80.

Karakteristik massa air Samudra Hindia Tenggara hingga Selatan Jawa yang ditayangkan sebagai T-S Diagram. Jenis massa air yang ditampilkan adalah SLW (Subtropical Lower Water), NSM (Northern Salinity Minimum), SSM (Southern Salinity Minimum), dan BSW (Banda Sea Water) (Teliandi *et al.*, 2013). T-S Diagram dibangun dari variable suhu, salinitas, dan tekanan atau kedalaman, dimana arus menjadikan suhu dan salinitas dinamis tersebar secara spasial (Utamy *et al.*, 2015).

BAB V

Dinamika Laut Indonesia

Widodo Setiyo Pranowo

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Dwiyoga Nugroho

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Herlina Ika Ratnawati

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Sitasi:

Pranowo W. S., Nugroho D., Kuswardani A. R. T. D., & Ratnawati H. I. 2019. Dinamika Laut Indonesia, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

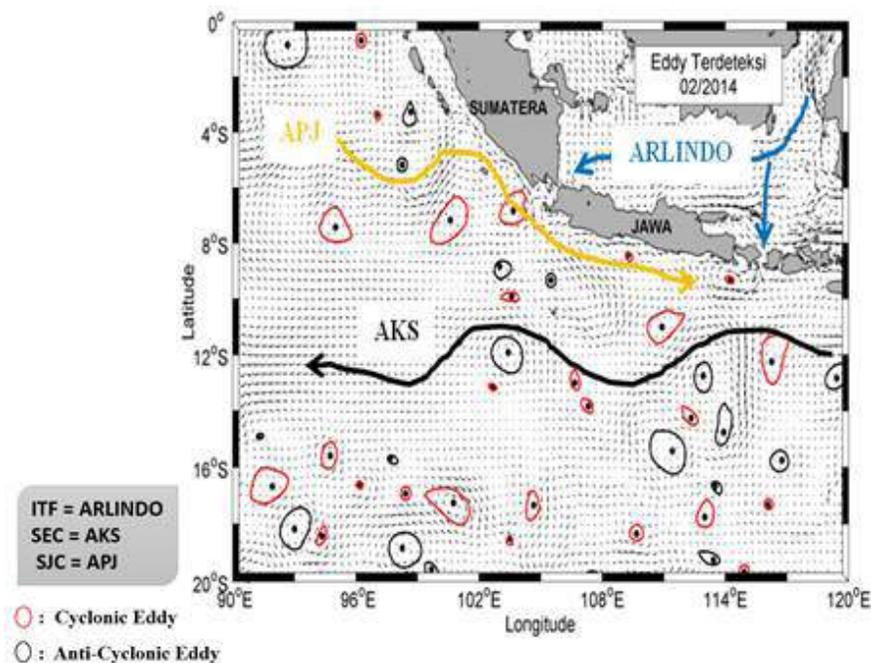
Dinamika Laut Indonesia

Dinamika Laut Indonesia terjadi akibat adanya sirkulasi massa air dari Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Sirkulasi massa air ini ada yang saling melintas di kedalaman yang berbeda, dan ada pula yang kemudian bercampur di suatu wilayah laut akibat bentuk dari geografis kepulauan. Sirkulasi-sirkulasi tersebut kemudian membangkitkan 3 (tiga) fenomena unik dinamika laut yang ada di Indonesia, yakni: Arus Lintas Indonesia (Arlindo), arus pusaran (*Eddy Current*), dan gelombang di bawah laut (*internal tide wave*).

5.1 Sirkulasi Massa Air Laut Indonesia dengan Samudra Hindia

Samudra Hindia mempunyai dua sistem sirkulasi arus utama, satu di Belahan Bumi Utara (BBU) dan satu lagi di Belahan Bumi Selatan (BBS). Arus permukaan di Samudra Hindia di sebelah utara mengalir ke Barat. Utamy *et al.*, (2015) mengemukakan bahwa laut masuk Arus Katulistiwa Selatan (AKS) Samudra Hindia (*Indian South equatorial current*, Indian SEC) dan arus baliknya ke arah Timur menyusuri pantai Selatan Jawa (APJ) atau disebut sebagai *South Java Counter Current* (SJCC). SJCC melintasi Laut Sawu untuk mencapai Selat Ombai, keluar melalui gerbang utama Arus Lintas Indonesia (*Indonesian Throughflow*, ITF). Lihat Gambar 79.

Aliran ke timur di permukaan SJCC atau APJ ini hampir sepanjang tahun, meskipun tampaknya mekanisme aliran ini berbeda sepanjang tahun. Aliran Ekman yang digerakkan angin selama angin monsoon barat laut dan



Gambar 79. Kompleksitas sirkulasi massa air laut Samudra Hindia dan Laut Indonesia (Digambar ulang adaptasi dari beberapa sumber: Utamy *et al.*, 2015, Pranowo *et al.*, 2016, dan Tussadiah *et al.*, 2018).

gelombang Kelvin semi-tahunan terkuat yang memiliki ciri di permukaan dapat mengakibatkan aliran lapisan permukaan ke arah timur melintasi seluruh selat. Sebaliknya, selama musim hujan tenggara SJCC memiliki aliran ke bawah permukaan arah timur maksimum pada kedalaman 50-100 m di bagian utara Selat Ombai. SJCC terkait dengan interaksi yang kompleks antara dinamika Ekman yang digerakkan oleh angin lokal, aliran ITF yang kuat, dan topografi. Energi arus yang kuat ditemukan pada skala waktu peralihan musim dengan durasi yang pendek (20-60 hari) dalam aliran sepanjang selat yang mungkin terkait dengan durasi singkat semburan angin barat yang mendorong gelombang Kelvin ke Selat Ombai. Ada pengurangan energi yang jelas pada skala waktu pralihan dengan durasi yang lebih lama (60-90 hari) yang kemungkinan disebabkan oleh variabilitas iklim tahunan.

5.2 Sirkulasi Massa air Laut Indonesia dengan Samudra Pasifik

Arus laut menyebabkan massa air dari Pasifik masuk dan menyebar di perairan Indonesia sebelum mengalir keluar dari Indonesia. Ada empat jenis massa air yang menyebar di Samudra pasifik, diantaranya yaitu: *North Pasific Subtropical Water* (NPSW) dan *North Pasific Intermediate Water* (NPIW) kedua massa air ini di bawa oleh arus *Mindano Eddy* dan arus *North Equatorial Current* (NEC), sedangkan massa air *South Pasific Subtropical Water* (SPSW) dan *South Pasific Intermediate Water* (SPIW) dibawa oleh arus *New Guinea Coastal Current* (NGCC) dan arus *South Equatorial Current*

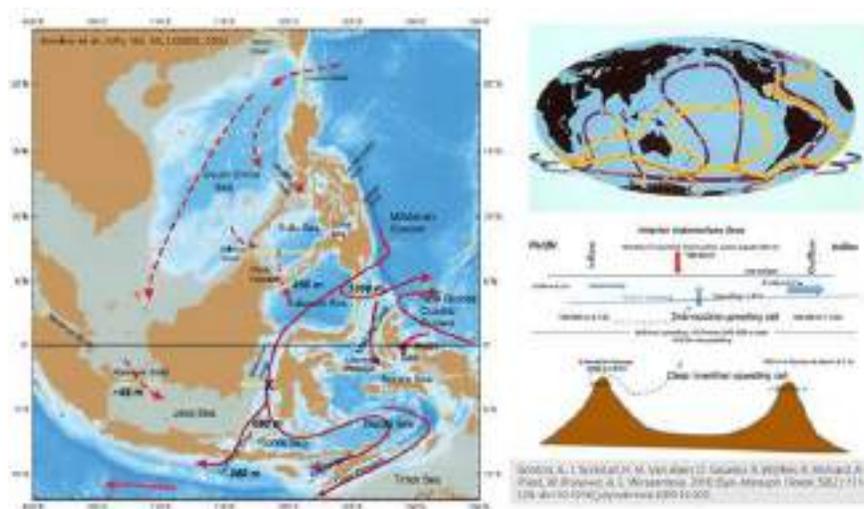
(SEC) (Coatanoan *et al.*, 2011; Teliandi dkk, 2013; Sprintall *et al.*, 2014; Utamy *et al.*, 2015; Bayhaqi, 2018).

Seperti telah dibahas sebelumnya, di wilayah Indonesia mengalir dua sistem arus utama, yaitu Armondo dan Arlindo (Purba & Pranowo, 2015). Armondo rata-rata dari laut China Selatan masuk ke Laut Jawa melewati Laut Natuna dan Selat Karimata. Dari Laut Jawa, Armondo meneruskan alirannya ke Laut-Laut jeluk, yakni Laut Flores dan Laut Banda. Arlindo mengalir dari Samudra Pasifik ke Hindia yang berasal dari Arus Mindanao (*Mindanao Current*, MC). Sementara massa air di selat Makassar teridentifikasi berasal dari NPSW di atas termoklin dan NPIW di bawah termoklin. Sumber utama perpindahan massa air dari Samudra Pasifik ke Hindia melalui Indonesia berasal dari Pasifik Utara sebanyak 92 persen dan Pasifik Selatan sebanyak 8 persen. Massa air dari Samudra Pasifik Selatan yang masuk ke Perairan Indonesia dibawa oleh arus Pantai Papua (*New Guinea Coastal Current*, NGCC), yang merupakan perpanjangan arus Selatan Khatulistiwa (*South Equatorial Current*, SEC), yang kemudian sebagian besar berbelok arah (*retroreflects*) ke Samudra Pasifik oleh Pusaran Halmahera (*Halmahera Eddy*, HE), kemudian mengalir bersama arus Sakal Katulistiwa Utara (*North Equatorial Counter Current*, NECC). Sedangkan arus yang membawa massa air dari Samudra Pasifik Utara adalah Arus Utara Khatulistiwa (*North Equatorial Current*, NEC) menuju ke Barat lalu bercabang di ujung Filipina, dengan cabang ke arah Utara dan Selatan. Cabang ke arah Utara menjadi awal arus Kurosiwo dan cabang yang ke arah selatan menjadi arus Mindanao (*Mindanao Current*, MC). Massa air dari Samudra Pasifik Utara yang telah dibawa oleh Arus Mindanao kemudian oleh Pusaran Mindanao (*Mindanao Eddy*, ME) dibawa masuk ke jalur Arlindo dilapisan bawah permukaan (termoklin). Sementara itu sebagian Arus Mindanao yang mengalir ke Selatan, ada yang berbelok arah di sekitar Pusaran Mindanao dan menjadi Arus Sakal Katulistiwa Utara (NECC). Sebagian besar massa air kemudian keluar menuju Samudra Hindia melalui Pintasan (*Passage*) Timor, dengan transpor yang kecil melalui Laut Sawu dan Selat Lombok. Lihat Gambar 80.

A. Arus lintas Indonesia (ARLINDO)

Laut Indonesia adalah satu-satunya laut di wilayah lintang rendah yang menghubungkan antara laut Pasifik dan Samudra Hindia (Purba & Pranowo, 2015). Posisi geografis yang strategis ini membuat laut Indonesia berperan penting pada terjadinya proses pencampuran massa air antara Samudra Pasifik dan Samudra Indonesia (Pranowo *et al.*, 2006).

Arus Lintas Indonesia atau yang lebih dikenal sebagai Arlindo adalah arus samudra yang membawa air tawar hangat dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Arus air hangat ini mengalir terutama pada lapisan termoklin. Termoklin adalah lapisan di mana suhu berubah terhadap kedalaman secara cepat. Lapisan ini biasanya berada pada kedalaman 50-100



Gambar 81. Pola Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) atau lebih dikenal sebagai Indonesian Through-Flow (ITF), yang membawat massa air dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia, hingga kedalaman tertentu (kiri); ARLINDO dapat memperkuat upwelling di wilayah outlet yakni di sepanjang Laut Selatan Jawa hingga Nusa Tenggara (kanan bawah); ARLINDO merupakan bagian dari pola sirkulasi arus global (kanan atas).

m. Arlindo merupakan bagian dari sistem arus dunia yang dikenal sebagai Sabuk Penghantar Samudra Raya (*the Great Ocean Conveyor Belt*). Secara umum Sabuk ini menggambarkan massa air di daerah tropis yang mengalir ke lintang sedang dan tinggi. Posisi laut Indonesia menjadi penting karena sebagai bagian dari Sabuk tersebut laut Indonesia berperan dalam menjaga siklus dan keseimbangan iklim dunia, lihat Gambar 81.

Aliran massa air ini terbentuk oleh karena adanya perbedaan tekanan antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Angin pasat yang berada di samudra Pasifik sepanjang tahun, mendorong massa air sehingga terjadi penumpukan di wilayah barat dari Samudra Pasifik yang berdekatan dengan laut Indonesia (Wyrтки, 1987). Menurut hasil beberapa penelitian, jalur Arlindo dimulai dari perairan antara Mindanao dan Halmahera. Terdapat 3 (tiga) pintu masuk utama yaitu Selat Makassar, Laut Maluku dan Laut Halmahera. Massa air yang melalui Selat Makassar kemudian membelah menjadi dua cabang yang melalui Selat Lombok dan langsung menuju Samudra Hindia, dan berbelok menuju Laut Banda melalui Selat Flores (Gordon *et al.*, 2010).

Pintu kedua adalah Laut Maluku, di mana massa air dari Samudra Pasifik masuk ke Laut Seram melalui Selat Lifamatola yang berada di antara Pulau Lifamatola dan Pulau Obi. Massa air dari Pasifik ini masuk melalui pintu ketiga, yaitu Laut Halmahera dan kemudian masuk ke Laut Seram dan Cekungan Aru untuk kemudian bercampur dengan massa air dari laut Banda.

Terdapat dua karakteristik massa air Arlindo yang berasal Pasifik utara yang dikenal sebagai *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) dan Pasifik selatan yang dikenal sebagai *North Pacific Intermediate Water* (NPIW). Karakteristik dari kedua massa air ini bisa diidentifikasi dari salinitasnya

yang tinggi (maksimum) untuk NPSW dan salinitas rendah (minimum) untuk NPIW.

Besaran arus biasanya ditentukan oleh kecepatan dan arah, tetapi karena laut memiliki penampang yang berbeda-beda maka dapat pula dihitung volume transportnya, yaitu suatu besaran yang menyatakan besarnya volume air yang mengalir dalam satu satuan waktu. Untuk Arlindo, untuk nilai volume transpor yang akurat, dilakukan pengukuran dengan meletakkan alat di beberapa lokasi kunci dari aliran arus tersebut. Rangkaian alat tersebut biasanya dinamakan "*mooring buoy*". Hingga saat ini alat-alat tersebut diletakkan di pintu masuk dan pintu keluar Arlindo yaitu: selat Makassar, selat lifamatola, selat Ombai, laut Timor dan selat Lombok (Pranowo *et al.*, 2006).

Berdasarkan penelitian program INSTANT (International Nusantara Stratification and Transport) yang dilakukan oleh 5 (lima) negara pada tahun 2003-2006, menunjukkan bahwa nilai total volume transpor dari Arlindo adalah 15 Sv (Sv dibaca: *Sverdrup*, di mana 1 Sv adalah laju volume 1 juta m³ air laut per detik) menuju ke arah selatan melalui 3 (tiga) jalur keluar ke arah Samudra Hindia yaitu Selat Lombok sebesar 2,6 Sv, Selat Ombai sebesar 4,9 Sv dan Laut Timor sebesar 7,5 Sv (Sprintall *et al.*, 2009; Gordon *et al.*, 2010). Total volume transpor yang melalui Selat Makassar berkisar antara ~12 - 13 Sv, besar volume transpor ini berfluktuasi pada skala waktu antar musiman, musiman ataupun antar tahunan. Presentase transpor Arlindo yang melalui Selat Makassar merupakan hampir 77 persen dari besar Arlindo yang melalui laut Indonesia.

Pengaruh Arlindo Terhadap Laut Indonesia

Topografi laut Indonesia yang sangat beragam mempengaruhi bentuk aliran massa air dari Pasifik ke arah Samudra Hindia. Proses dan mekanisme fisis oseanografi seperti turbulensi, *sinking*, *upwelling*, *downwelling*, dan sebagainya memberikan efek terhadap perjalanan mengalirnya ARLINDO ini. *Sill* Dewakang yang berada di sebelah selatan Sulawesi, menyebabkan terjadinya proses *upwelling* di bagian barat laut Flores (Ratnasari *et al.*, 2017). *Sill* Dewakang ini berada pada jalur yang dilalui oleh massa air Pasifik yang melalui Selat Makassar dan memiliki kedalaman 550 meter (Gordon *et al.*, 2008). *Sill* yang berada di ujung akhir Selat Makassar ini menghalangi jalannya massa air dari Selat Makassar yang menuju ke Laut Flores, sehingga aliran massa air hanya terjadi pada kedalaman di atas 550 meter saja. Oleh karenanya aliran massa air hanya terjadi pada lapisan atas sehingga lapisan air yang berada dibawahnya terseret ke arah timur. Lapisan yang kosong itu kemudian diisi oleh lapisan air di bagian bawah yang naik ke atas, yang kemudian dikenal sebagai *upwelling* dan menyebabkan daerah ini menjadi subur (Gordon *et al.*, 1994).

Arlindo juga berpengaruh terhadap *upwelling* yang terjadi di selatan Jawa (Pranowo *et al.*, 2005). Hasil penelitian menunjukkan bahwa 50-60 persen

dari faktor pemicu *upwelling* di selatan Jawa adalah aliran massa air yang berasal dari selat Lombok (Purba, 2007; Valsala *et al.*, 2011; Kuswardani & Qiao, 2014). Hal yang sebaliknya terjadi juga pada aliran Arlindo sendiri, di mana aliran massa air Arlindo yang keluar dari selat Lombok ke selatan Jawa dipengaruhi oleh fenomena *upwelling* yang terjadi di sepanjang pantai pulau Jawa di bagian selatan, baik secara musiman maupun menjadi bagian dari proses Indian Ocean Dipole (Feng & Meyers, 2003).

B. Arus Pusaran (Eddy Current)

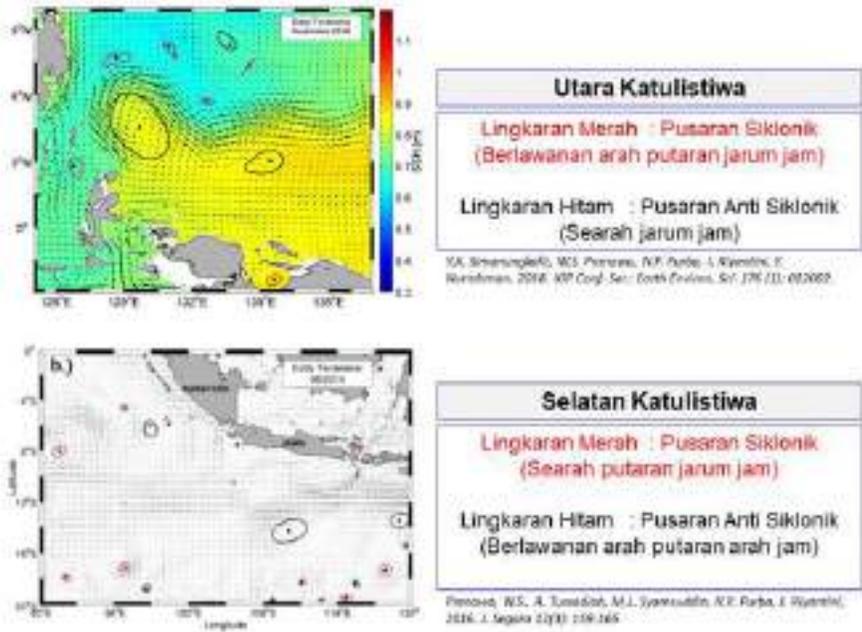
Perairan Indonesia memiliki karakteristik arus yang kompleks dan rumit diakibatkan oleh posisinya yang geostrategis. Arus merupakan pola pergerakan massa air laut yang dibangkitkan oleh beberapa sumber, seperti perbedaan tinggi permukaan laut akibat fenomena pasang surut dan seretan angin. Sedangkan arus di kedalaman tertentu, dapat juga diakibatkan oleh aliran massa air yang dibangkitkan oleh adanya perbedaan densitas atau berat jenis air laut. Indonesia mendapatkan tiupan angin *monsoon* barat yang bergerak dari atas benua Asia menuju ke timur dan tenggara ke arah Australia. Dan sebaliknya pada periode *monsoon* timur angin bergerak menuju barat dan barat laut. Sedangkan secara geografis di Indonesia terbagi menjadi 4 (empat) tipe pasang surut. Sedangkan posisinya yang terletak di antara 2 (dua) Samudra menyebabkan adanya aliran massa air yang melintasi perairan Indonesia dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Indonesia yang wilayahnya dilintasi oleh garis katulistiwa (ekuator) menjadikan fenomena arus di sebelah utara ekuator dan sebelah selatan ekuator, akan mempunyai karakteristik yang berbeda akibat pengaruh gaya *Coriolis*. Secara umum, pertemuan antar aliran massa air atau antar arus tersebut menyebabkan terjadinya suatu pusaran arus atau yang lebih dikenal dengan Arus Pusaran atau Arus *Eddy*. Arus *Eddy* ini ada yang memiliki diameter puluhan hingga ratusan kilometer. Arus *Eddy* merupakan pusaran yang diakibatkan oleh gaya vortisitas fluida.

Arus *Eddy* yang melingkar ini mempunyai dua tipe melingkar, yakni siklonik dan antisiklonik. Pada Perairan di selatan ekuator, siklonik *Eddy* berputar searah jarum jam, dan antisiklonik *Eddy* berputar berlawanan arah jarum jam. Sebaliknya pada perairan di utara Ekuator, siklonik *eddy* berputar berlawanan arah jarum jam, dan antisiklonik *Eddy* berputar searah arah jarum jam, lihat Gambar 82.

Siklonik *Eddy*, umumnya berkaitan dengan *upwelling*. Sehingga nutrisi yang berasal dari lapisan bawah akan terangkat ke permukaan membawa *nutrient* yang kemudian digunakan untuk tumbuh dan berkembang kehidupan organisme rantai makanan dari plankton, ikan-ikan kecil, hingga ikan pelagis besar.

Penelitian mengenai *Eddy* di perairan Indonesia telah dilakukan oleh Laboratorium Data Laut dan Pesisir, Pusat Riset Kelautan, diantaranya oleh

Gambar 82. Arus pusaran (Eddy) ada siklonik dan anti siklonik, namun berbeda arah pusarannya. Di utara katulistiwa, pusaran siklonik berlawanan arah putaran jarum jam, anti siklonik searah putaran jarum jam (kiri atas). Di selatan katulistiwa, pusaran siklonik searah putaran jarum jam, anti siklonik berlawanan arah putaran jarum jam (kiri bawah).



Tussadiah *et al.*, (2018) mengenai karakteristik *Eddy* dan hubungannya dengan tuna sirip kuning di Selatan Jawa Samudra Hindia; dan mengenai pengaruh *Eddy* terhadap fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) di perairan Samudra Pasifik Barat oleh Simanungkalit *et al.*, (2018).

Dari hasil analisis *Eddy* di perairan Selatan Jawa Samudra Hindia diketahui bahwa yang lebih dominan terbentuk adalah siklonik *Eddy* (searah jarum jam), dengan total 474 siklonik *Eddy* dan 442 antisiklonik *Eddy* (Tussadiah *et al.*, 2016). Secara umum, kemunculan *Eddy* di perairan Selatan Jawa dan Samudra Hindia cenderung bervariasi mengikuti sistem pola arus yang terjadi (Tussadiah *et al.*, 2018). Di mana tipe siklonik *Eddy* dominan terbentuk pada saat Musim Barat (Desember – Februari). Sedangkan tipe antisiklonik *Eddy* dominan terbentuk pada saat Musim Peralihan I dan II.

Selanjutnya berdasarkan hasil analisis korelasi antara *Eddy* dan tuna sirip kuning (*Yellowfin Tuna*) di Selatan Jawa Samudra Hindia, diketahui bahwa sebaran tuna sirip kuning tidak secara konstan dipengaruhi oleh *Eddy* (Tussadiah *et al.*, 2018). Namun nilai korelasi cukup tinggi ditemukan pada tipe siklonik *Eddy* ($r = 0,59$).

Pada perairan Samudra Pasifik bagian barat terdapat dua *Eddy* yang dominan terbentuk secara periodik yaitu *Mindanao Eddy* (ME) dan *Halmahera Eddy* (HE). *Mindanao Eddy* memiliki karakteristik tipe siklonik *Eddy* dan suhu air laut di pusat *Eddy* yang cenderung dingin (*Cold-Eddy*). Sedangkan *Halmahera Eddy* memiliki karakteristik tipe antisiklonik dengan suhu air yang lebih hangat (*Warm-Eddy*). Sepanjang tahun 2011, 2014, 2015, dan 2016

terdeteksi terbentuk *Eddy* dengan total 1.119 siklonik *Eddy* dan 892 antisiklonik *Eddy*. Pada bulan Oktober 2015 yang mewakili fase *El Niño* diketahui bahwa pembentukan eddy cenderung bertambah terhadap kedalaman, namun radius *Eddy* menjadi semakin kecil (berkisar 20 – 220 km). Selanjutnya, pada bulan April 2011 pada fase *La Niña*, diameter pembentukan *Eddy* cenderung melebar dibandingkan pada saat fase *El Niño* dan fase normal, dengan diameter berkisar 30 – 450 km. Hasil penelitian Simanungkalit dan kawan-kawan menunjukkan adanya korelasi sangat tinggi antara suhu air laut pada pusat *Eddy* dengan ENSO (0,98) di kedalaman 200 m.

C. Umbalan (*Upwelling*)

Interaksi fisis antara angin dan laut yang terstratifikasi akan menimbulkan umbalan/*upwelling*. Menurut Purba (2007), ada 3 proses yang menyebabkan terjadinya *upwelling*, yaitu:

1. Ketika terdapat tikungan yang tajam di garis pantai yang mengakibatkan arus bergerak menjauhi pantai sehingga terjadi kekosongan massa air di dekat pantai, lalu massa air pun akan naik mengisi kekosongan tersebut.
2. Ketika terjadi arus dalam (*deep current*) yang membentur penghalang di dasar laut yang menyebabkan arus tersebut dibelokkan ke atas permukaan.
3. Ketika terjadi hembusan angin yang terus menerus dengan kecepatan yang cukup besar dan dalam waktu yang cukup lama dipermukaan laut. Angin yang bergerak dipermukaan laut ini mengakibatkan kekosongan di bagian atas, akibatnya air yang berasal dari bawah menggantikan kekosongan yang berada di atasnya.

Ketika terjadi *upwelling*, maka karakteristik perairan di permukaan laut yang awalnya hangat akan berubah menjadi lebih dingin (turun sekitar 2° C di daerah tropis) dari biasanya (Kuswardani & Qiao, 2014).

Ada 3 tipe *upwelling* yaitu:

1. Tipe *stasioner*, *upwelling* terjadi sepanjang tahun meskipun dengan intensitas yang bervariasi.
2. Tipe periodik/berkala, *upwelling* terjadi hanya selama satu musim saja.
3. Tipe silih berganti, pada satu musim terjadi *upwelling* dan musim berikutnya terjadi *downwelling* (kebalikan dari *upwelling*).

Karakteristik *Upwelling* di Laut Indonesia

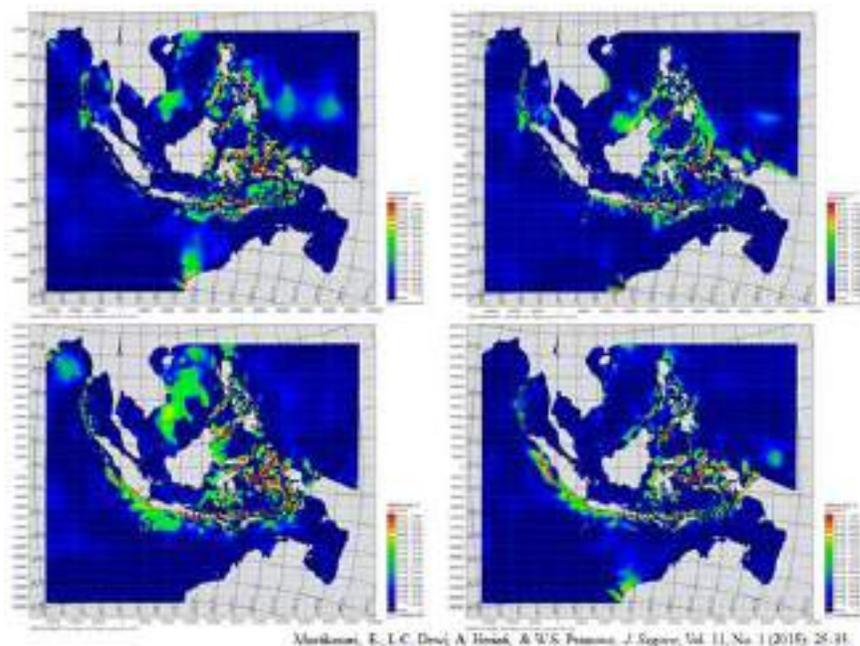
Fenomena *upwelling* yang terjadi di Indonesia adalah tipe periodik/berkala dan tipe silih berganti dan hanya ada di perairan tertentu, lihat Gambar 82. Salah satu contoh terjadinya *upwelling* di perairan Indonesia adalah di Selat Makassar.

Upwelling terjadi dikarenakan adanya *sill* (bentuk dasar cekungan yang menjulang ke atas tetapi tidak sampai ke permukaan laut, biasanya terdapat di mulut cekungan laut dan berfungsi menghambat aliran air yang melewatinya) yang dilalui oleh massa air Pasifik. Adanya *sill* di ujung Selat Makassar ini menghalangi jalannya massa air dari Selat Makassar menuju Laut Flores. Aliran massa air pada bagian atas yang terjadi di Laut Flores ini seolah-olah menyeret lapisan di bawahnya. Akibatnya terjadi kekosongan massa air di lapisan atas Laut Flores bagian barat yang kemudian terjadilah *upwelling*.

Sementara di Laut Tomini selama musim timur terjadi kekosongan massa air di permukaan akibat adanya angin pasat tenggara sehingga mengakibatkan terjadinya fenomena *upwelling*. Di wilayah perairan Indonesia lainnya yaitu Laut Banda, Laut Arafura, Laut Maluku, juga dikenal sebagai daerah yang sering terjadi *upwelling*. Hal ini juga terjadi pada musim timur di mana massa air di lapisan atas perairan tersebut terdorong oleh angin musim timur sampai ke Laut Jawa, Laut Natuna, dan Laut Cina Selatan.

Kejadian *upwelling* di sepanjang perairan Selatan Nusa Tenggara Timur (NTT) hingga Barat Sumatra merupakan bentuk evolusi *upwelling* yang setiap tahun berulang. Fenomena *upwelling* ini dipengaruhi oleh musim dan iklim. Adanya perubahan fenomena iklim (Normal, *El Niño*, dan *La Niña*) diduga akan menyebabkan perubahan karakteristik *upwelling*, baik temporal (periode *upwelling*), spasial (distribusi horisontal), maupun intensitasnya. Berdasarkan hasil analisa dari data pola angin, model pola arus, sebaran suhu baik dari model maupun dari WOD (*World Ocean Data*), serta data satelit yang berupa SST (*Sea Surface Temperature*) dan *Chlorophyll-a*, ditemukan bahwa pada variasi fenomena iklim (Normal, *El Niño* dan *La Niña*) tahunan, menunjukkan karakteristik *upwelling* yang berbeda. *Upwelling* pada tipe periode *El Niño* mempunyai karakteristik lebih lama, lebih luas distribusi spasialnya dan lebih kuat intensitasnya dibanding pada periode Normal dan *La Niña*. *Upwelling* pada tipe periode *La Niña* mempunyai karakteristik paling singkat kejadiannya, paling sempit distribusi spasialnya dan paling kecil intensitasnya dibanding periode *El Niño* dan Normal. Adanya *internal waves* yang terjadi sebagai akibat bekerjanya gaya-gaya pasang surut dan Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) berperan memperkuat terjadinya *upwelling*.

Tim peneliti dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pesisir melakukan pemodelan pola arus laut di seluruh Perairan Indonesia (Mustikasari *et al.*, 2015). Pemodelan arus yang telah dilakukan tidak menyertakan faktor suhu dan salinitas, yaitu dikenal dengan arus *barotropic*, lihat Gambar 83. Data yang digunakan adalah data Bulan Januari, April, Agustus, Oktober Tahun 2007 sebagai wakil dari Musim Barat, Musim Peralihan I, Musim Timur dan Musim Peralihan II. Arus laut yang bergerak naik, dikenal sebagai *upwelling* dirata-ratakan dan dipetakan untuk setiap bulan. Peta *upwelling* inilah yang akhirnya dapat menggambarkan daerah potensial perikanan tangkap (Pranowo *et al.*, 2016).



Gambar 83. karakteristik *upwelling* pada Januari Musim Barat (kiri atas); April Musim Peralihan I (kanan atas); Agustus Musim Timur (kiri bawah); Oktober Musim Peralihan II (kanan bawah). Intensitas kuat ditunjukkan oleh warna merah, sedangkan intensitas menengah ditunjukkan oleh warna hijau; sedangkan kondisi lemah hingga tanpa *upwelling* ditunjukkan dengan warna biru muda hingga tua.

Hasil penelitian ditunjukkan pada peta *upwelling* di bawah ini. Peta *upwelling* inilah yang akhirnya dapat menggambarkan daerah potensial perikanan tangkap. Pada Bulan Januari, (Musim Barat) *upwelling* lebih banyak muncul di Indonesia Timur (Mustikasari *et al.*, 2015). Sementara di Indonesia Barat dapat dikatakan tidak ada *upwelling*. Perairan yang mengalami *upwelling* diantaranya adalah Selat Ujung Pandang, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone, di sekitar Kepulauan Talaud, utara Bali, barat dan selatan Pulau Lombok, utara Pulau Sumbawa sampai Selat Sape, utara Pulau Flores, Pulau Adonara, Pulau Siantar, Pulau Alor, Pulau Sumba, Pulau Timor, Laut Sawu sampai perairan sekitar Pulau Roti dan Pulau Sawu, timur laut Pulau Seram sampai tenggara Kepulauan Sula, utara dan timur laut Pulau Buru, utara Kepulauan Sula sampai perairan Bitung (Mustikasari *et al.*, 2015).

Pada Bulan April (Peralihan I), *upwelling* di Indonesia timur mulai berkurang luasnya, dan di selatan Jawa mulai muncul *upwelling*. Pada Bulan Agustus (Musim Timur), *upwelling* di perairan selatan Jawa meluas sampai perairan barat Sumatera yaitu Teluk Bayur. Sementara *upwelling* di Indonesia timur, intensitasnya menjadi menguat. Pada Bulan Oktober (Musim Peralihan II), *upwelling* dari selatan Jawa tetap muncul. Sementara *upwelling* di barat Sumatra semakin meluas ke arah utara. *Upwelling* ini meluas dari perairan sekitar Pulau Enggano, barat Kepulauan Mentawai, Kepulauan Batu, Pulau Nias dan Pulau Simeulue. Sedangkan di Indonesia Timur keberadaan *upwelling* tetap terlihat dengan nilai intensitas yang lebih kecil jika dibandingkan dengan Bulan Agustus (Mustikasari *et al.*, 2015).

***Upwelling* Sebagai Pembangkit Ekonomi**

Laut dapat dikatakan subur apabila di wilayah perairannya terdapat banyak ikan. Seperti makhluk hidup lainnya, ikan juga akan mendiami lingkungan perairan dengan kondisi lingkungan yang mendukung keberlanjutan hidupnya. Kondisi perairan dikatakan mendukung apabila suhu (temperatur), salinitas, ketersediaan oksigen yang terlarut dalam air dan kandungan nutrisi atau zat-zat makanan ikan sangat optimal di lingkungan perairan tersebut (Utamy *et al.*, 2015; Tussadiah *et al.*, 2017). Perairan subur ini akan memberikan keuntungan yang besar bagi nelayan.

Pada setiap musim, perairan di Indonesia Timur masih menunjukkan keadaan *upwelling* walaupun dengan intensitas yang berbeda-beda. Sementara di Indonesia Barat, *upwelling* muncul pada Bulan April, itupun hanya sedikit di selatan Jawa. Sementara di bulan Agustus mulai muncul di barat Sumatra. Keadaan ini bertahan sampai Bulan Oktober (Pranowo *et al.*, 2016; Tussadiah *et al.*, 2018).

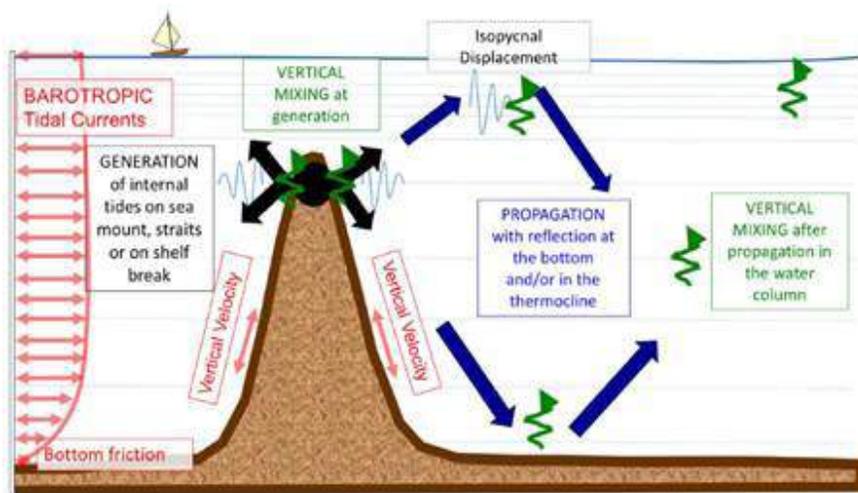
Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa potensi perikanan di Indonesia memuncak pada Bulan Agustus. Dan, wilayah yang berpotensi tinggi untuk perikanan tangkap adalah perairan Indonesia Timur. Hal ini sesuai dengan fakta di lapangan. Secara umum potensi tertinggi perikanan tangkap kita berada di Indonesia timur (Supangat *et al.*, 2004).

Dengan demikian pemodelan pola arus dapat dipakai sebagai informasi awal dalam penentuan daerah potensi perikanan tangkap bagi nelayan. Dalam kehidupan nelayan sebagai pencari ikan, fenomena *upwelling* ini dapat memudahkan para nelayan yang akan mencari ikan untuk menentukan lokasi-lokasi penangkapan yang subur dan banyak ikannya.

D. Internal Tide Waves

Salah satu karakteristik oseanografi unik di laut Indonesia adalah adanya gelombang laut dalam (*Internal Tide Waves*). Gelombang ini merupakan gelombang laut pada kedalaman tertentu yang dibangkitkan oleh interaksi antara gelombang pasang surut dengan dasar laut yang memiliki topografi kompleks. Jika profil vertikal tekanan air laut konstan dari permukaan sampai ke dasar (kondisi barotropik) maka gelombang pasang surut tidak akan dapat membangun gelombang laut dalam. Namun, pada kondisi profil tekanan yang bervariasi dari permukaan sampai ke dasar laut (kondisi baroklinik), interaksi gelombang pasang surut dengan dasar laut dapat bertransformasi menjadi gelombang laut dalam, lihat Gambar 84.

Ilustrasi pembentukan gelombang laut dalam disajikan pada Gambar 84 hingga Gambar 87. Ilustrasi gelombang internal sebagai berikut. Gelombang pasang surut merupakan sumber energi utama dalam pembentukan gelombang laut dalam. Gelombang pasang surut merambat secara periodik (pasang dan surut) dari laut dalam menuju sebuah selat atau celah sempit



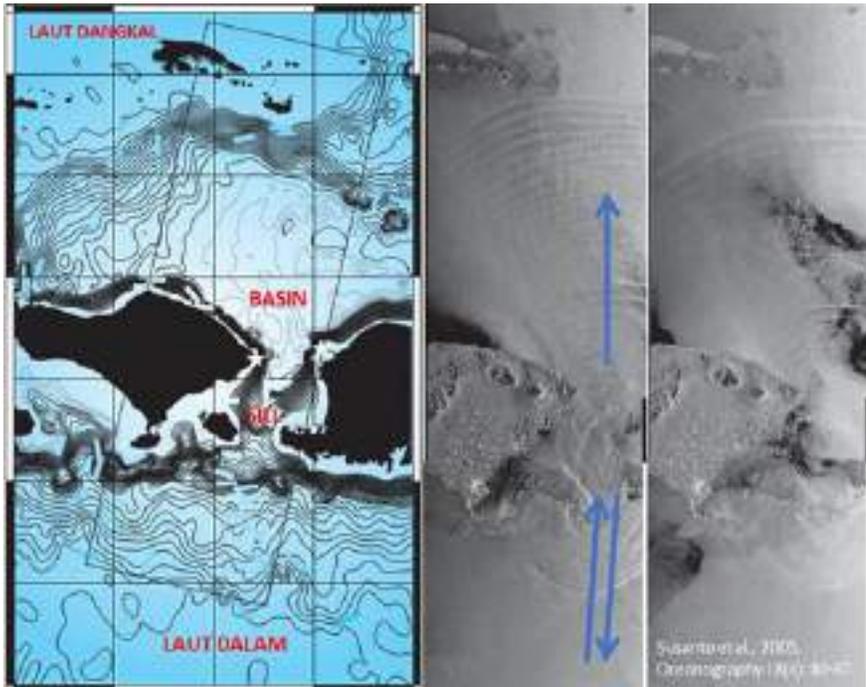
Gambar 84. Ilustrasi pembentukan gelombang laut dalam (Photo credit: Nugroho et al., 2017).

yang memiliki dasar perairan yang curam. Energi pasang surut akan terdisipasi akibat gesekan dasar perairan dan sisa energi akan merambatkan gelombang pasang surut secara periodik di dasar kemiringan perairan. Gelombang yang secara periodik tersebut akan berinteraksi dengan densitas perairan yang bervariasi dan kemudian membentuk gelombang baru yang merambat pada suatu kontur densitas yang sama (*isopiknal*), lihat Gambar 85 dan Gambar 87.

Gelombang yang merambat tersebut dikenal dengan gelombang laut dalam (Internal tides). Secara umum, amplitudo gelombang laut dalam dapat mencapai lebih dari 100 meter, lihat Gambar 85. Gelombang laut dalam akan terus merambat sampai pada suatu masa gelombang akan pecah dan memberikan energi vertikal yang besar. Selain itu, perambatan gelombang sepanjang isopiknal akan menghasilkan pencampuran antara lapisan isopiknal di kolom air, lihat Gambar 84. Proses fisis gelombang laut dalam yang pecah dan pencampuran antara lapisan isopiknal menjadikan gelombang laut dalam sebagai salah satu proses fisis pada pencampuran massa air di laut Indonesia (Koch-Larrouy *et al.*, 2007, 2010, 2011; Kartadikaria 2011; Nagai & Hibiya, 2014; Sprintall 2015; Nugroho 2017).

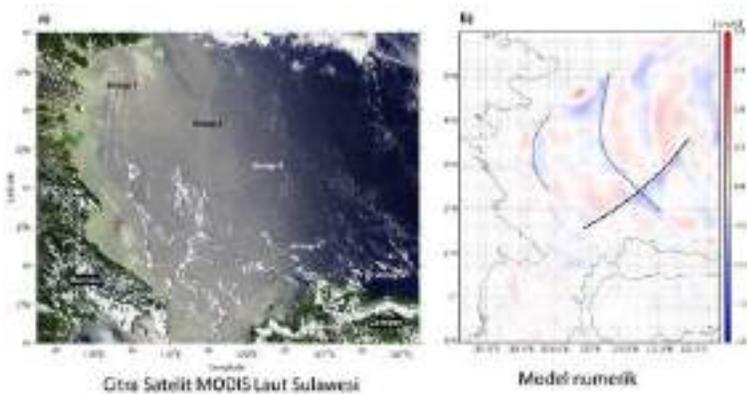
Indonesia memiliki dasar perairan yang kompleks terutama di bagian timur. Pada daerah selat wilayah Indonesia bagian timur biasanya memiliki topografi perairan yang sangat curam sehingga membentuk seperti bukit bawah laut. Gelombang laut dalam dapat terdeteksi di permukaan laut baik dari tangkapan citra satelit MODIS *true color* (Jackson, 2007), maupun dari hasil model numerik (Nugroho, 2007), lihat Gambar 86 dan Gambar 87. Gelombang laut dalam memiliki panjang gelombang yang sama dengan gelombang pasang surut yaitu 100 kilometer yang menyebabkan gelombang kemungkinannya dapat terdeteksi menggunakan satelit radar.

Gambar 85. Gelombang panjang dari Samudra Hindia menjalar menuju ke Selat Lombok, ketika melewati Sill (penghalang dasar laut yang dangkal) kemudian membangkitkan paket-paket kontur gelombang internal yang menjalar meninggalkan Sill (Photo credit: Susanto *et al.*, 2005).

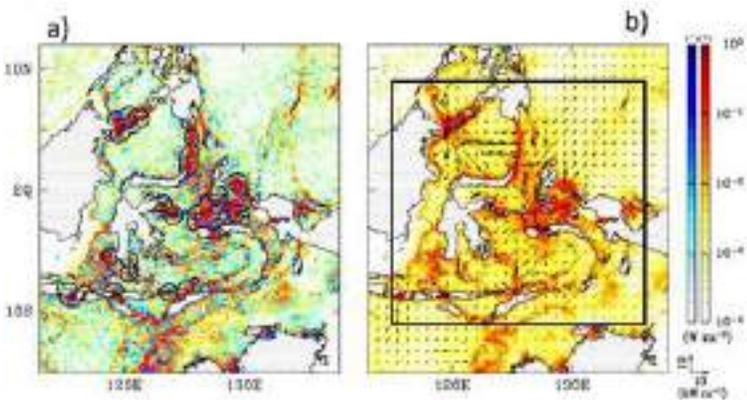


Lokasi energi pembangkitan gelombang laut dalam merupakan lokasi dissipasi terbesar dari energi pasang surut, lihat Gambar 87(a). Lokasi energi pembangkitan laut dalam yang besar terdapat di Selat Timor, Laut Halmahera, Selat Sangihe, Selat Ombai, Selat Lombok. Setelah gelombang laut dalam terbentuk, selanjutnya gelombang akan merambat dan terdissipasi tidak jauh dari lokasi pembentukannya (Gambar 87(b)). Pada lokasi dissipasi gelombang laut dalam merupakan lokasi pencampuran massa air terbesar. Pada Laut Halmahera terdapat energi dissipasi gelombang laut dalam yang besar sehingga massa air dari Samudra Pasifik dapat dengan cepat mengalami pencampuran yang mereduksi profil salinitas maksimum di termoklin. Hal yang berbeda terjadi ketika massa air pasifik memasuki selat Makassar dari selat Sangihe (Gordon *et al.*, 2010). Tidak terdapat konsentrasi energi dissipasi yang besar sehingga transformasi massa air yang melalui selat makassar berlangsung perlahan.

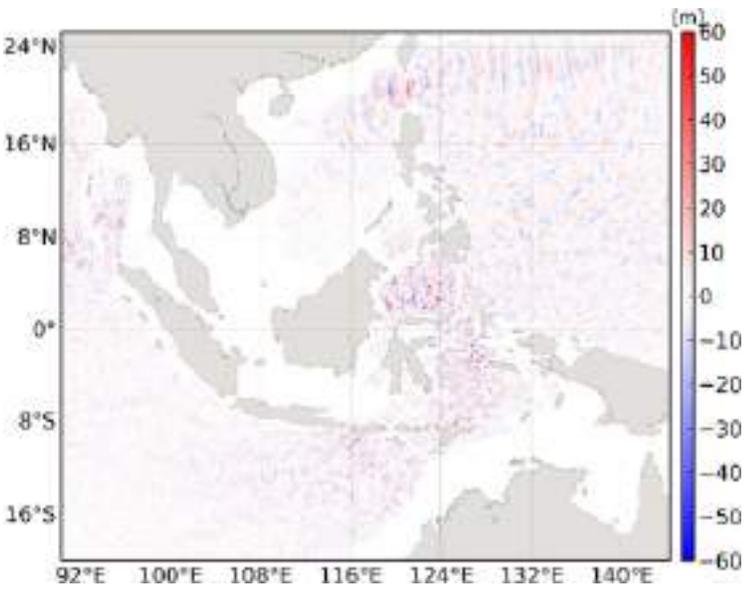
Secara Umum wilayah perairan Indonesia merupakan wilayah pembangkitan energi gelombang laut dalam (Gambar 88). Selain di Wilayah timur, Wilayah bagian barat Indonesia juga merupakan wilayah pembangkitan gelombang laut dalam, terutama di wilayah laut Andaman. Gelombang laut dalam akan berpropagasi masuk ke prairan Indonesia sampai ke perairan barat Sumatra.



Gambar 86. Perambatan gelombang laut dalam yang tertangkap satelit modis oleh Jackson (2007) ditampilkan dalam bentuk group group kontur gelombang (kiri, gambar a). Perambatan gelombang laut dalam di permukaan laut dari hasil model numerik oleh Nugroho et al. (2017) cepat rambat dalam satuan cm/detik (kanan, gambar b).



Gambar 87 Lokasi-lokasi pembangkitan energi gelombang laut dalam terlihat yang dilingkari, dimana umumnya adalah celah-celah di Selat (kiri, gambar a). Disipasi penjalaran energi gelombang laut dalam dengan satuan W/m^2 (kanan, gambar b). Kedua gambar bersumber dari Nagai & Hibiya (2015).



Gambar 88. Ilustrasi perambatan gelombang laut dalam pada kedalaman 980 meter (Photo credit: Nugroho et al., 2017).

BAB VI

Peranan Oseanografi Pada Pembangunan Maritim

Widodo Setiyo Pranowo

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Dwiyoga Nugroho

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Herlina Ika Ratnawati

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Sitasi:

Pranowo W. S., Nugroho D., Kuswardani A. R. T. D., & Ratnawati H. I. 2019. Peranan Oseanografi Pada Pembangunan Maritim, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Peran Oseanografi Pada Pembangunan Maritim

Oseanografi memiliki peranan penting dalam berbagai bidang pada sektor pembangunan maritim. Data-data oseanografi seperti karakteristik dan dinamika laut yang dihasilkan dari observasi, survei pengukuran, penelitian, pengkajian dan pemodelan bisa digunakan sebagai bahan rujukan pengambilan kebijakan di pemerintah maupun industri. Pada era Indonesia 4.0, maka basis data oseanografi yang lengkap secara spasial dan runtut waktu secara temporal dapat dikembangkan menjadi informasi yang berguna untuk meningkatkan ekonomi maritim oleh masyarakat secara langsung. Metode *artificial intelligent* (kecerdasan buatan) dapat diterapkan terhadap data-data oseanografi tersebut untuk menghasilkan informasi yang dibutuhkan oleh pengguna, sedangkan *Internet of Thing* (IoT) adalah sebuah wahana yang menghubungkan basis data oseanografi dengan pengguna secara langsung.

Salah satu contoh dari pemanfaatan basis data oseanografi adalah prediksi data pasang surut 14 hari ke depan, yang umumnya dipergunakan oleh para pembudidaya rumput laut untuk mencari waktu pada saat air suruy, sehingga pembudidaya rumput laut dapat leluasa memasang rumput laut pada tali-tali, demikian juga ketika melakukan panen. Informasi prediksi pasang surut sering juga digunakan oleh para pemancing untuk mencari waktu yang tepat dan target jenis ikan pancingan tertentu. Penyelam pun menggunakan informasi prediksi pasang surut untuk mencari waktu yang tepat untuk menyelam. Lihat Gambar 89.



6.1 Peranan Untuk Kelautan

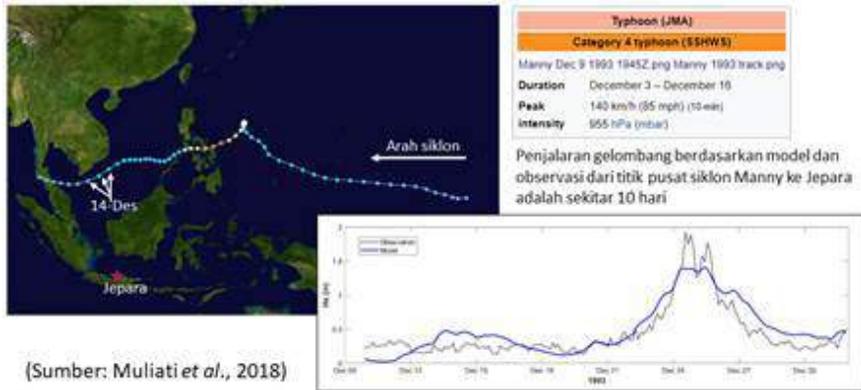
Transportasi Laut

Parameter oseanografi yang bersifat dinamis seperti gelombang, arus, pasang, dan juga parameter yang bersifat statis seperti batimetri sangat berperan dalam kegiatan transportasi laut. Informasi kedalaman laut (batimetri) sangat penting untuk diketahui oleh nahkoda kapal agar dalam bernavigasi tidak menabrak atau terdampar oleh dasar laut. Peta laut, yang berisi batimetri, yang digunakan untuk bernavigasi di wilayah laut Indonesia dan juga sungai, serta danau, diproduksi oleh Pusat Hidrografi-Oseanografi TNI-AL. Peta batimetri tersebut dikoreksi dengan cara disurutkan beberapa desimeter berdasarkan karakteristik lokal dari tunggang (*tidal range*) dari pasang surut dalam rangka menyajikan informasi kedalaman yang aman untuk dilalui oleh kapal (Supriyono *et al.*, 2015; Muldiyatno *et al.*, 2016; Arifiyanto *et al.*, 2016; Saputra *et al.*, 2016). Nahkoda akan mengecek informasi angka batimetri dan kemudian dibandingkan dengan tinggi draft kapal, apakah suatu alur pelayaran memungkinkan dan aman untuk dilalui kapalnya.

Informasi dinamis umum lain seperti peramalan tinggi gelombang signifikan dan ekstrim (lihat Gambar 90), peramalan pasang surut, dan peramalan arus, membantu Nahkoda untuk memutuskan pemilihan suatu alur pelayaran yang lebih aman.

Gambar 89. Aplikasi pasang surut android di lebih dari 30 stasiun pelabuhan perikanan yang dikembangkan oleh Pusat Riset Kelautan pada 2015, dengan jumlah pengguna lebih dari 10 ribu, namun hanya bertahan hingga 2018 karena keterbatasan anggaran riset untuk pembangunan data dan informasi.

Gambar 90. Siklon Tropis Manny, pada Desember 1993, yang melewati Laut Natuna Utara membangkitkan gelombang signifikan dan menjar ke perairan pesisir Jepara (Photo credit: Muliati et al., 2018).



(Sumber: Muliati et al., 2018)

Pencemaran Laut

Arus laut adalah pemeran utama pengangkut atau penyebar senyawa polutan di badan air di suatu perairan laut. Luasan dari pencemaran adalah sangat tergantung dari massa jenis dan volume dari senyawa atau benda polutan yang diangkut oleh arus. Senyawa pencemar atau polutan dapat berupa tumpahan minyak, senyawa kimia berbahaya lainnya, sampah, makro dan mikro plastik, logam berat, senyawa nuklir, dan lain sebagainya yang dianggap sebagai material pencemaran. Pencemaran laut sangatlah berbahaya bagi organisme laut yang dapat berdampak hingga ke manusia melalui rantai makanan.

Indonesia sebagai negara maritim yang memiliki sumber daya laut sebagai sumber ketahanan pangan. Salah satu sumber daya ketahanan pangan adalah sumber daya perikanan. Dalam kurun waktu 4 (empat) tahun terakhir, kedaulatan pangan di laut ditegakkan oleh Negara Republik Indonesia, khususnya oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan yang bekerjasama dengan TNI Angkatan Laut dalam memberantas penangkapan ikan yang illegal dan yang tidak dilaporkan. Namun ancaman intrinsik terhadap kualitas sumber daya ikan, dalam hal ini belum begitu menjadi perhatian, terutama oleh tercemarnya laut sebagai lingkungan hidup ikan oleh tumpahan minyak.

Tumpahan minyak dapat terjadi akibat kecelakaan kapal di alur pelayaran, ataupun bocornya pipa minyak, secara tidak langsung sangatlah berhubungan dengan kegiatan hidrografi. Kasus tabrakan kapal tanker pengangkut minyak MT. Alyarmouk dengan Kapal Sinar Kapuas di Selat Singapura, pada Januari 2015 adalah contoh kasus tumpahan minyak yang terjadi di alur pelayaran internasional. Sedangkan bocornya pipa pertamina di Teluk Balikpapan pada April 2018, adalah contoh kasus dari kurang hati-hatian dalam pembacaan peta laut panduan navigasi.

Wilayah laut teritorial Indonesia dalam upaya pengelolaan sumber daya ikannya, dibagi menjadi 11 (sebelas) wilayah pengelolaan perikanan negara

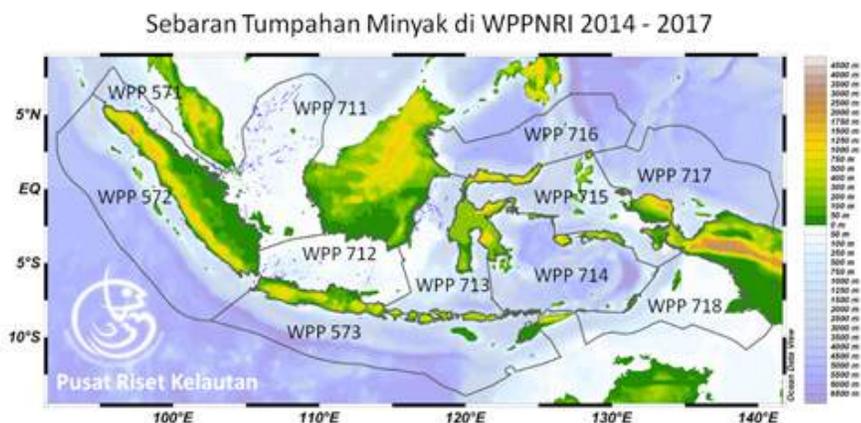
republik Indonesia (WPPNRI) berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 18/PERMEN-KP/2014. Secara umum sebaran tumpahan minyak terjadi di wilayah pengelolaan perikanan Selat Malaka (WPPNRI 571), Laut Selatan Jawa hingga Selatan Nusa Tenggara (WPPNRI 573), Laut Natuna dan Selat Karimata (WPPNRI 711), Laut Jawa (WPPNRI 712), dan Selat Makassar (WPPNRI 713).

Menurut Pranowo (2018), secara spasial, sebaran tumpahan minyak paling luas terjadi di wilayah pengelolaan perikanan Selat Makassar (WPPNRI 713) yang terjadi pada Juli 2014 yakni sekitar 145,86 km². Sedangkan luasan tumpahan minyak yang paling sempit terjadi di Laut Selatan Malang dan Selatan Pulau Timor (WPPNRI 573) yakni terjadi pada November 2014 yakni sekitar 0,546 km², lihat Gambar 90.

Masih menurut Pranowo (2018), secara temporal, sebaran minyak dengan frekuensi tertinggi terjadi sepanjang Oktober-November 2014. Sedangkan pada tahun 2015 frekuensi kejadian tumpahan minyak terjadi pada bulan Januari dan Maret. Adapun total frekuensi tertinggi kejadian tumpahan minyak berturut-turut dari yang tertinggi hingga terendah adalah di WPPNRI 713 (Selat Makassar), 711 (Laut Natuna dan Selat Karimata), 712 (Laut Jawa), 571 (Selat Malaka), 573 (Selatan Jawa dan Selatan Pulau Timor), dan 572 (Laut Barat Sumatra).

Sebaran dan frekuensi tumpahan minyak yang terjadi di WPPNRI 713 cenderung di sekitar perairan pesisir timur Kalimantan, terutama di sekitar Balikpapan dan Delta Mahakam. Beberapa spot tumpahan minyak terlihat berada di tengah Selat Makassar yang merupakan jalur pelayaran internasional yakni Alur Lintas Kepulauan Indonesia (ALKI) 2 (Pranowo, 2018).

Sedangkan di WPPNRI 711 terlihat tumpahan minyak cenderung terjadi di sekitar kawasan Blok sumur migas Natuna hingga di kawasan Selat Singapura, Batam-Bintan dan Lingga. Adapun sebaran tumpahan minyak di WPPNRI 712 hampir terkonsentrasi di sekitar perairan Kepulauan Seribu hingga utara Cirebon, dan juga di seputaran utara Madura. Laut Natuna, Selat



Gambar 91. Sebaran tumpahan minyak yang terdeteksi oleh satelit Radar INDESO Project milik KKP sepanjang kurun waktu 2014-2017. Terlihat WPPNRI-711 Laut Natuna, WPPNRI-712 Laut Jawa, WPPNRI-713 Selat Makassar, dan WPPNRI-571 Selat Malaka adalah rentan terhadap tumpahan minyak (Photo credit: Pranowo, 2018).

Karimata hingga mendekati mulut utara Selat Sunda merupakan jalur pelayaran internasional ALKI 1 yang paling ramai hingga saat ini (Pranowo, 2018).

Di WPPNRI 571 sebaran tumpahan minyak hampir ditemui di sepanjang Selat Malaka, namun frekuensi tertinggi di seputaran Belawan hingga Aceh. Adapun di WPPNRI 573, tumpahan minyak terdeteksi di selatan perairan Malang, dan di selatan Pulau Timor (Pranowo, 2018).

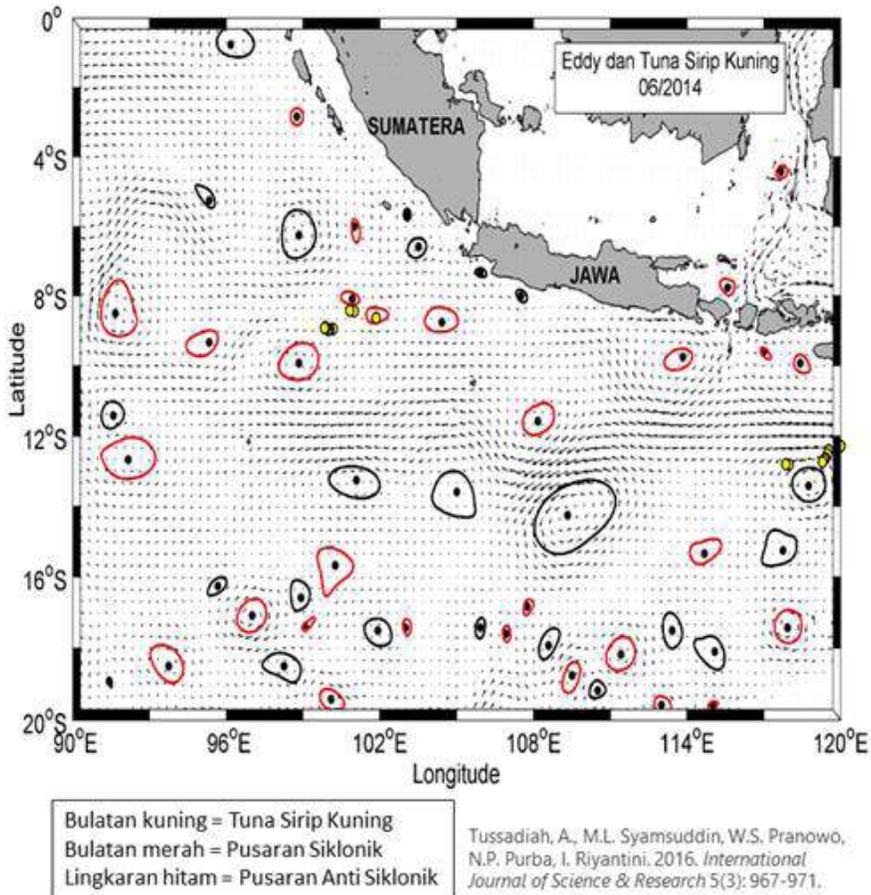
6.2 Peranan Untuk Perikanan

Perikanan Tangkap

Dalam perhitungan korelasi linier antara nilai EKE eddy dengan tuna sirip kuning, data dari tuna sirip kuning tersebut berasal dari data hasil pencatatan observer yang dilakukan oleh Observer LPPT Benoa, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan dengan komposit data dari tahun 2005 – 2013 yang selanjutnya dilakukan korelasi dengan nilai EKE yang berada di titik pusat pada kedua tipe eddy dengan 4 kedalaman yang berbeda, lihat Gambar 91. Berdasarkan hasil nilai korelasi pada 4 kedalaman menunjukkan bahwa pola naik turunnya dari nilai korelasi di 4 kedalaman tersebut memiliki pola yang sama pada kedua tipe eddy, yaitu dari kedalaman 5 m nilai korelasi mengalami penurunan ke kedalaman 109 m, kemudian pada kedalaman 155 m dan 222 m nilai korelasi mengalami peningkatan (Tussadiah *et al.*, 2016).

Nilai tertinggi dari EKE siklonik eddy terdapat pada bulan Oktober yaitu sebesar $2,12 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ untuk nilai tangkapan tuna sirip kuning berada pada rentan nilai yang cukup rendah yaitu 180 ekor, sedangkan nilai terendah dari EKE siklonik *Eddy* terdapat pada bulan Mei yaitu sebesar $0,37 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan untuk nilai tuna sirip kuning pada kedalaman ini berada pada rentan nilai tertinggi yaitu sebesar 566 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018). Pada nilai tertinggi dari EKE antisiklonik *Eddy* berada pada bulan November yaitu sebesar $2,89 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan untuk nilai tuna sirip kuning pada bulan ini berada pada rentan nilai yang rendah yaitu 128 ekor, sedangkan pada nilai terendah dari EKE antiklonik *Eddy* berada pada bulan Februari yaitu $0,48 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan nilai tuna sirip kuning pada bulan ini berada pada rentan nilai terendah yaitu sebanyak 7 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018).

Berdasarkan nilai tertinggi dan terendah antara EKE dengan tuna sirip kuning, dapat dilihat bahwa pada hubungan antara kedua tipe EKE dengan tuna sirip kuning memiliki korelasi yang negatif (berlawanan) hal ini ditunjukkan ketika nilai variabel satu berada pada titik puncaknya maka nilai variabel lainnya berada pada rentan yang rendah dan begitu sebaliknya (Tussadiah *et al.*, 2018). Nilai korelasi antara EKE dengan tuna sirip kuning di kedalaman 5 m menunjukkan nilai korelasi yang kecil yaitu pada hubungan



Gambar 92. Ikan tuna sirip kuning (bulatan kuning) berkorelasi dengan posisi tepian arus pusaran siklonik yang menyebabkan upwelling (lingkaran merah) dan tepian arus pusaran anti siklonik yang menyebabkan downwelling (lingkaran hitam). Arah arus horizontal ditandai oleh vektor anak panah.

antara EKE siklonik *Eddy* dengan tuna sirip kuning sebesar $-0,189$ dan pada hubungan EKE antisiklonik *Eddy* dengan tuna sirip kuning sebesar $-0,048$ dimana pada kedua nilai korelasi ini termasuk kedalam kategori korelasi linier negatif sangat rendah (Tussadiah *et al.*, 2018). Rendahnya nilai korelasi pada kedalaman ini dapat dikarenakan bahwa pada kedalaman 5 m ikan tuna sirip kuning tidak banyak atau tidak dapat ditemukan, karena ikan tuna sirip kuning banyak ditemukan pada lapisan termoklin atau pada kedalaman 150 m, hal ini diperjelas pula oleh pernyataan Pranowo *et al.*, (2016) yang mengatakan bahwa lapisan termoklin mempengaruhi pergerakan secara vertikal dan pola distribusi tuna.

Nilai EKE siklonik *Eddy* pada kedalaman 109 m memiliki nilai tertinggi pada bulan Oktober yaitu sebesar $1333,31 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan untuk nilai tuna sirip kuning pada bulan ini berada pada rentan nilai yang cukup rendah yaitu sebanyak 180 ekor, sedangkan nilai terendah dari EKE siklonik *Eddy* terdapat pada bulan Januari dengan nilai tuna sirip kuning pada bulan ini berada pada rentan nilai rendah yaitu sebanyak 111 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018). Nilai

tertinggi dari EKE antisiklonik terdapat pada bulan Juli yaitu sebesar $690,97 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan nilai tuna sirip kuning pada bulan ini memiliki rentan nilai yang cukup rendah yaitu 193 ekor, sedangkan nilai terendah dari EKE antisiklonik berada pada bulan Januari yaitu sebesar $11,73 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dengan nilai tuna sirip kuning berada pada rentan nilai yang rendah yaitu 111 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018).

Hubungan antara EKE dan tuna sirip kuning yang dilihat dari nilai tertinggi dan terendah pada kedua variabel tersebut diketahui memiliki hubungan yang tidak erat, dilihat bahwa ketika variabel satu berada pada titik puncaknya maka nilai variabel lain tidak terdapat pada nilai yang rendah (Purba & Pranowo, 2015). Hal ini dikarenakan pada kedalaman 109 m memiliki nilai korelasi yang paling rendah dibandingkan kedalaman lainnya, yaitu pada EKE siklonik *Eddy* memiliki nilai R sebesar $-0,078$ dan pada EKE antisiklonik *Eddy* sebesar $-0,0039$ dan nilai korelasi pada kedua tipe tersebut termasuk kedalam kategori korelasi linier negatif sangat rendah (Tussadiah *et al.*, 2016).

Pada grafik hubungan antara EKE dengan tuna sirip kuning di kedalaman 155 m, diketahui bahwa nilai tertinggi dari EKE siklonik *Eddy* terdapat pada bulan Oktober yaitu sebesar $90,41 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan nilai tuna sirip kuning pada bulan ini berada pada rentan nilai yang cukup rendah yaitu sebesar 180 ekor, sedangkan nilai terendah dari EKE siklonik *Eddy* terdapat pada bulan Desember yaitu sebesar $5,64 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dengan nilai tuna sirip kuning berada pada rentan nilai yang rendah pula yaitu 65 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018). Nilai tertinggi pada EKE antisiklonik *Eddy* terdapat pada bulan Mei yaitu sebesar $29,24 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan nilai tuna sirip kuning berada pada puncaknya yaitu sebesar 556 ekor, sedangkan nilai terendah dari EKE antisiklonik *Eddy* terdapat pada bulan Oktober yaitu sebesar $5,75 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dengan nilai tuna sirip kuning memiliki rentan nilai yang cukup rendah yaitu 180 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018). Berdasarkan nilai tertinggi dan terendah antara EKE dengan tuna sirip kuning, dapat diketahui bahwa pada kedua tipe tersebut memiliki hubungan yang searah (positif), di mana pada hubungan antara EKE siklonik *Eddy* dengan tuna sirip kuning memiliki nilai korelasi linier sebesar $0,120$ dan pada hubungan EKE antisiklonik memiliki nilai korelasi sebesar $0,156$, pada kedua nilai korelasi ini mengalami peningkatan dibandingkan pada kedalaman sebelumnya dan kedua nilai korelasi ini termasuk dalam kategori korelasi linier positif sangat rendah (Tussadiah *et al.*, 2018).

Sementara nilai tertinggi dari EKE siklonik *Eddy* terdapat pada bulan September yaitu sebesar $42,02 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dengan nilai tuna sirip kuning berada pada rentan nilai yang sedang yaitu 322 ekor, dan nilai terendah dari EKE siklonik *Eddy* terdapat pada bulan Desember yaitu $7,87 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan nilai tuna sirip kuning berada pada rentan yang rendah pula yaitu 65 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018). Selanjutnya, pada EKE antisiklonik memiliki nilai tertinggi pada bulan Februari yaitu $19,28 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dan nilai tuna sirip

kuning berada pada nilai terendahnya yaitu 7 ekor, sedangkan nilai terendah dari EKE antisiklonik terdapat pada bulan Agustus yaitu sebesar $6,75 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ dengan nilai tuna sirip kuning berada pada rentan yang rendah yaitu 77 ekor (Tussadiah *et al.*, 2018).

Berdasarkan hasil nilai korelasi antara EKE dengan tuna sirip kuning di kedalaman 222 m menunjukkan bahwa pada kedalaman ini memiliki nilai korelasi tertinggi baik pada EKE siklonik *Eddy* maupun EKE antisiklonik *Eddy*, di mana pada EKE siklonik *Eddy* memiliki nilai korelasi sebesar 0,400 dan pada EKE antisiklonik *Eddy* sebesar -0,308. Pada nilai korelasi antara EKE siklonik *Eddy* termasuk kedalam kategori korelasi linier positif rendah dan pada EKE antisiklonik *Eddy* termasuk dalam kategori korelasi linier negatif rendah, hal ini menunjukkan bahwa jika nilai dari EKE antisiklonik *Eddy* semakin meningkat maka nilai dari tuna sirip kuning akan mengalami penurunan, sedangkan jika nilai EKE siklonik *Eddy* meningkat maka nilai tuna sirip kuning akan mengalami peningkatan pula (Tussadiah *et al.*, 2018). Berdasarkan nilai korelasi antara EKE dengan tuna sirip kuning diketahui bahwa tuna sirip kuning relatif memiliki hubungan dengan nilai EKE yang kecil, ditunjukkan bahwa pada kedalaman 222 m memiliki nilai korelasi tertinggi baik itu pada kedua tipe EKE dan hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Simanungkalit *et al.* (2018) bahwa pada penelitiannya pola distribusi dari ikan cakalang berada pada kisaran nilai EKE yang rendah.

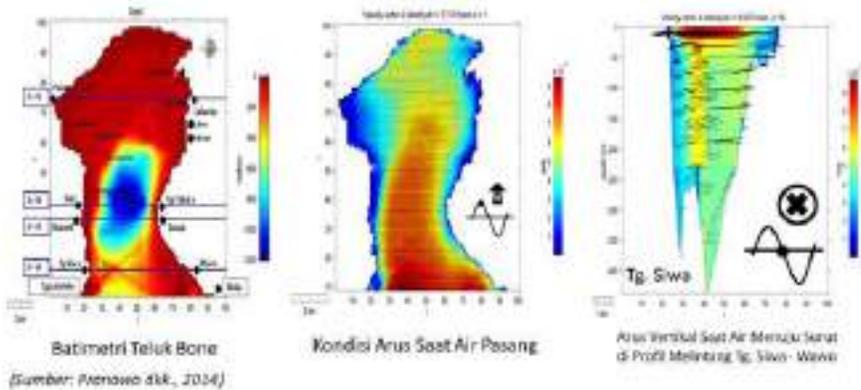
Perikanan Budidaya

Salah satu contoh aplikasi dari suatu riset kondisi karakteristik arus adalah dengan menggunakan pemodelan hidrodinamika arus 3 dimensi. Manakala karakteristik arus di suatu perairan dapat diketahui pola sirkulasi secara horisontal dan vertikal, maka dapat dikaji secara lebih lanjut apakah sesuai dengan kriteria budidaya laut atautkah tidak. Berikut ini adalah salah satu contoh riset arus di Teluk Bone yang dilakukan oleh Pranowo *et al.*, (2014), lihat Gambar 93.

Teluk Bone merupakan wilayah potensial perikanan yang menarik untuk dipelajari pola arusnya. Pemodelan arus dilakukan untuk memperoleh gambaran fenomena arus yang terjadi selama periode angin Monsun Tenggara, dalam hal ini 1-10 Agustus 2004 (Gambar 93). Tingkat akurasi verifikasi hasil pemodelan ditentukan dari hasil selisih nilai antara hasil pemodelan dengan observasi pengukuran.

Elevasi permukaan laut di Teluk Bone pada kondisi Pasang Purnama adalah berkisar 0,0492 - 2,4140 meter. Sedangkan kecepatan arus permukaan pada kondisi yang sama berkisar $0,5 \times 10^{-3}$ - $12,25 \times 10^{-3}$ meter/detik, dengan arah dominan menyusur pantai timur yang kemudian menuju ke arah Utara dan Barat. Peristiwa *downwelling* terjadi di beberapa lokasi di pantai barat dan *upwelling* di beberapa lokasi di pantai timur. Dimana kisaran kecepatan arus vertikal yang menuju ke atas (*upwelling*) antara $0,5 \times 10^{-3}$ hingga $3,5 \times 10^{-3}$

Gambar 93. Pemodelan kondisi karakteristik arus 3 dimensi di Teluk Bone dalam rangka mengkaji kesesuaian untuk budidaya laut (Photo credit: Pranowo et al., 2014).



meter/detik, sedangkan kisaran kecepatan arus vertikal yang menuju ke bawah (*downwelling*) adalah antara $0,5 \times 10^{-3}$ hingga $4,6 \times 10^{-3}$ meter/detik. Pada periode ini kondisi kecepatan arus permukaan ternyata mendukung perikanan budidaya laut karena masih berada dalam standar UNDP/FAO yaitu < 100 cm/detik, lihat Tabel 14. Kecepatan arus vertikal *upwelling* dan *downwelling* yang rendah membuat pengadukan nutrisi tidak terlalu kuat sehingga dapat dimanfaatkan oleh fitoplankton secara stabil. Daerah yang arus permukaannya berada dalam kategori kesesuaian baik untuk usaha budidaya rumput laut, ikan dalam KJA dan tiram mutiara serta didukung dengan adanya *upwelling* dan *downwelling* adalah Palopo, Suli, dan Muranti, lihat Gambar 93 dan Tabel 14.

Arus hanyalah salah satu variabel yang harus dikaji untuk kesesuaian lokasi perairan untuk budidaya laut. Dalam rangka menghasilkan kajian kesesuaian lokasi perairan budidaya laut yang valid maka diperlukan kajian melibatkan variabel yang lain seperti gelombang, suhu, salinitas, oksigen terlarut dan lain sebagainya.

BAB VII

Perubahan Iklim: Penyebab dan Dampaknya Pada Sektor Kelautan dan Perikanan

Novi Susetyo Adi

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Terry Louise Kepel

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Tubagus Solihuddin

*Pusat Riset Kelautan
Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan*

Kadarusman

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

Sitasi:

Adi N. S., Kepel T. L., Solihuddin T., & Kadarusman. 2019. Perubahan Iklim: Penyebab dan Dampaknya Pada Sektor Kelautan dan Perikanan, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Perubahan Iklim : Penyebab dan Dampaknya Pada Sektor Kelautan dan Perikanan

Perubahan iklim dapat dipandang dari berbagai perspektif, diantaranya dari segi fenomena dan juga konsensus global. Segi fenomena melibatkan berbagai diskursus mengenai penyebab dan dampak perubahan iklim yang sering bertumpu pada observasi dan analisis teknis mengenai perubahan iklim dari berbagai aspek keilmuan. Segi konsensus global sering dikaitkan dengan ‘politisasi perubahan iklim’ yang antara lain mencakup formalisasi fenomena perubahan iklim ke dalam berbagai kesepakatan dan kelembagaan di tingkat lokal, nasional, regional maupun global. Aspek perubahan iklim pada buku ini akan mencakup kedua hal tersebut dan bab ini akan mencoba memfokuskan pada segi fenomena dan dampak perubahan iklim. Pada bagian awal bab akan dideskripsikan penyebab perubahan iklim dan diskursus di seputaran hal tersebut. Bab ini kemudian diakhiri dengan uraian mengenai dampak dari perubahan iklim pada sektor kelautan dan perikanan.

7.1 Perubahan Iklim : Antara Siklus Alamiah dan Intervensi Manusia

Diskursus mengenai penyebab perubahan iklim tidak dapat dilepaskan dari yang disebut kaum skeptis dan non-skeptis. Kaum skeptis antara lain beropini bahwa apa yang disebut dengan perubahan iklim sekarang ini tidak lebih dari sekedar variasi alamiah iklim bumi dan tidak perlu ada yang dilakukan oleh manusia mengenainya. Kaum non-skeptis berpendapat sebaliknya, bahwa manusialah penyebab utama dari peningkatan suhu global dan perlu merubah perilaku untuk mencegah atau mengurangi perubahan iklim (Painter and Ashe, 2012). Salah satu teori sandaran dari kaum skeptis adalah yang disebut teori atau siklus Milankovitch. Sekitar tahun 1920-an, seorang ahli geofisika sekaligus astronomi berkebangsaan Serbia, Milutin Milankovitch, menyampaikan sebuah teori tentang siklus perubahan perputaran (orbit) bumi terhadap matahari yang menyebabkan perbedaan intensitas radiasi sinar matahari mencapai bumi dan berdampak terhadap perbedaan pola iklim di bumi. Siklus tersebut terjadi sekitar 20.000 tahunan, 40.000 tahunan, dan 100.000 tahunan dan dikenal dengan sebutan Siklus Milankovitch (Berger and Loutre, 1994).

Siklus 20.000 tahunan merupakan siklus perubahan pada sumbu rotasi bumi. Siklus ini terjadi setiap 19.000-23.000 tahun. Dalam teori Milankovitch, siklus ini disebabkan oleh variasi presisi (*precession*). Dampak yang diakibatkan oleh perubahan ini adalah peningkatan suhu pada salah satu belahan bumi dan penurunan suhu pada belahan bumi lainnya. Siklus 40.000 tahunan merupakan siklus perubahan kemiringan rotasi bumi. Siklus ini terjadi dalam variasi kurun waktu 40.000 tahun. Dalam teori Milankovitch, siklus ini diakibatkan oleh variasi kemiringan (*obliquity*). Kemiringan bumi bergeser antara 22-24,5 derajat, dan saat ini bumi berotasi dengan kemiringan 23,4 derajat. Saat kemiringan bertambah, terjadi peningkatan suhu baik pada saat musim dingin maupun musim panas. Sebaliknya, saat kemiringan berkurang, musim panas akan menjadi lebih dingin dan musim dingin akan menjadi lebih panas. Siklus 100.000 tahunan merupakan siklus perubahan bentuk orbit bumi yang mengelilingi matahari. Siklus ini terjadi setiap 100.000 tahun dan akan terus berubah hingga kurun waktu 400.000 tahun. Dalam teori Milankovitch, siklus ini disebut eksentrisitas (*eccentricity*). Perubahan ini berdampak pada jarak titik terdekat dan terjauh bumi terhadap matahari. Saat bumi berada pada jarak terdekat dari matahari, maka suhu bumi akan semakin panas, sedangkan pada titik terjauh suhu bumi akan semakin turun (Berger and Loutre, 1994).

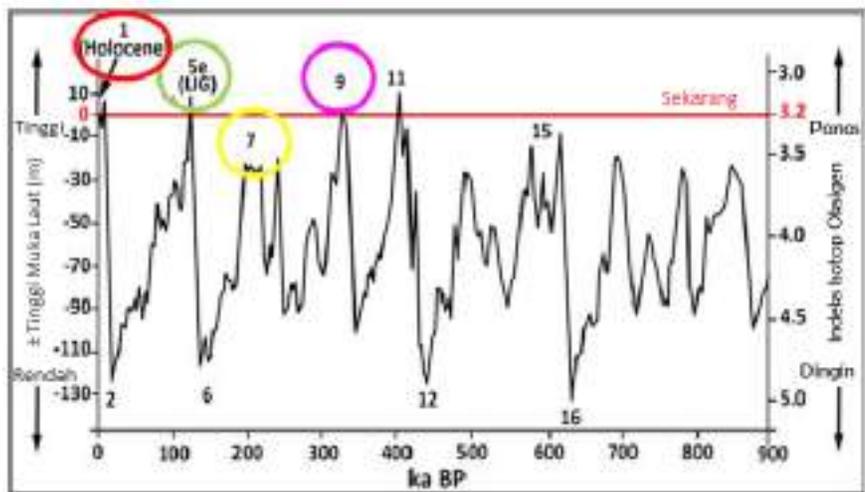
Walaupun teori ini pada awalnya banyak diragukan, namun seiring dengan perjalanan waktu, para ilmuwan telah membuktikan kebenarannya melalui apa yang diistilahkan sebagai 'arsip alam' yang antara lain berupa inti es, data *coring* terumbu karang dan sedimen. Berbagai arsip alam ini telah menyimpan catatan tentang sejarah iklim bumi dengan baik. Secara prinsip

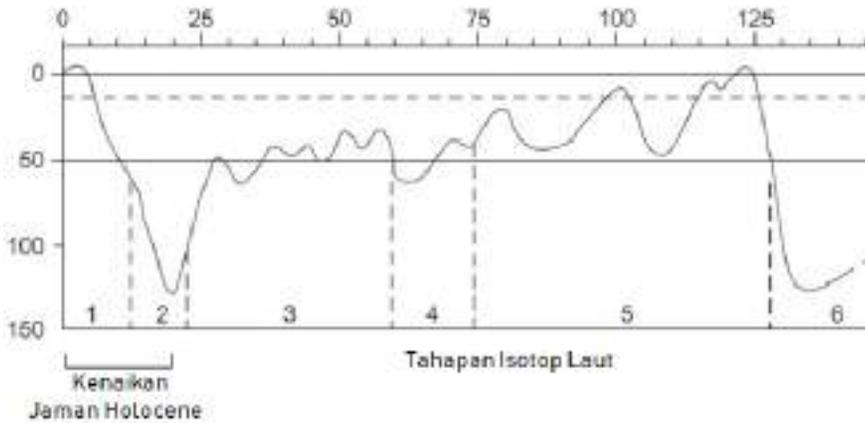
analisis sejarah iklim ini dilakukan dengan mengukur parameter-parameter tertentu pada tiap lapisan dari data arsip alam tadi, di mana lapisan-lapisan tersebut mewakili suatu kurun waktu tertentu. Beberapa penelitian telah dilakukan, diantaranya pada inti es di Antartika dengan menggunakan perbandingan isotop oksigen/nitrogen terhadap gelembung udara yang terperangkap pada es tersebut. Penelitian juga dilakukan pada sedimen (pasir/lumpur) laut dalam dengan melakukan uji karbon dan pengamatan pada fosil mikro (diatom dan foraminifera). Beberapa penelitian juga telah dilakukan di gua dan danau yang memiliki potensi menyimpan catatan iklim purba dengan baik.

Data yang diperoleh dari isotop oksigen marin (*marine-oxygen isotope*) menunjukkan periode waktu (siklus) panas dan dingin kronologi iklim bumi dalam kurun waktu 900.000 tahun (gambar 94). Data menunjukkan siklus 100.000 tahunan (eksentrisitas) memiliki pengaruh yang cukup kuat, sementara siklus 20.000 tahunan (presisi) dan 40.000 tahunan (kemiringan) tidak begitu nampak terlihat jelas. Namun demikian, apabila kita perbesar gambar kurvanya, nampak terlihat jelas periodisasi waktu 20.000 dan 40.000 tahunan naik turunnya suhu bumi yang seiring dengan dinamika muka laut seperti terlihat pada gambar 93.

Siklus Milankovitch dengan berbagai kekurangan dan permasalahannya dapat menjelaskan variasi perubahan iklim dalam periode waktu puluhan hingga ratusan ribu tahun. Namun demikian, perubahan iklim dalam skala waktu yang lebih pendek seperti saat ini, yaitu dalam skala dekade, lebih disebabkan oleh faktor manusia (IPCC, 2014). Meningkatnya konsentrasi karbon dioksida dan gas metan di atmosfer sebagai dampak dari penggunaan bahan bakar fosil menimbulkan efek gas rumah kaca yang menghalangi pemantulan kembali panas matahari oleh bumi, sehingga terjadi peningkatan suhu di permukaan bumi atau yang lebih dikenal dengan istilah pemanasan global (*global warming*).

Gambar 94.
Kronologi
Iklim Bumi dan
Hubungannya
Dengan Tinggi
Muka Laut
Dalam Kurun
Waktu 900.000
Tahun. Perbedaan
warna lingkaran
menunjukkan
perbedaan periode.
(Sumber : Chapel
and Shackleton,
1986.; Chappel and
Polach, 1991)





Gambar 95. Variasi suhu bumi dan tinggi muka air laut pada periodisasi waktu 20.000 dan 40.000 tahunan (Sumber : Chappel and Shackleton, 1986) (Sumber : Chapel and Shackleton, 1986.; Chappel and Polach, 1991)

7.2 Dampak Antropogenik Terhadap Perubahan Iklim

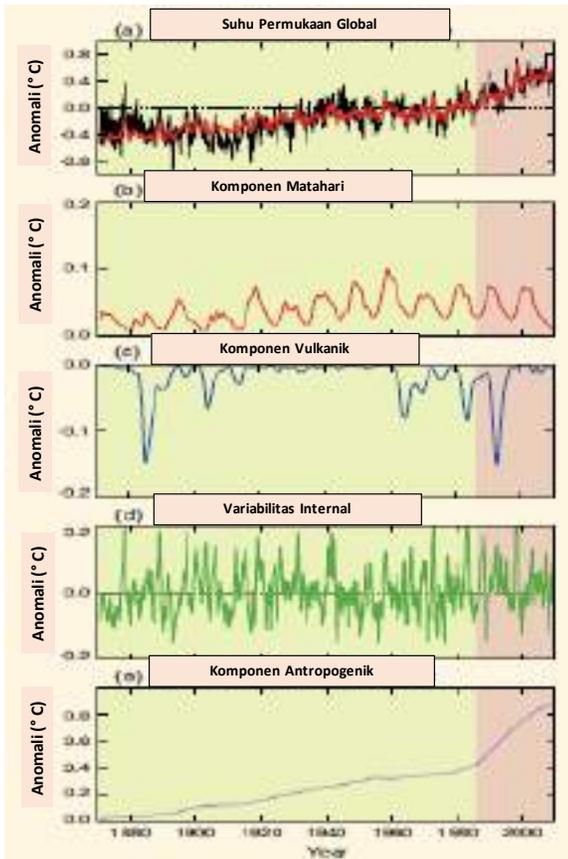
Selain tekanan lingkungan pada skala lokal, dampak global terhadap kualitas lingkungan yang mulai menjadi perhatian saat ini adalah adanya perubahan iklim akibat pemanasan global. Perubahan iklim diidentikkan dengan adanya peningkatan suhu global, kenaikan muka air laut, perubahan pola curah hujan (presipitasi) serta meningkatnya kejadian cuaca ekstrim, seperti banjir, kekeringan, gelombang panas dan badai.

Menurut *United Nation Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) dalam Artikel 1, para 2 mendefinisikan perubahan iklim sebagai sebuah perubahan iklim yang disebabkan baik secara langsung atau tidak langsung oleh aktifitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer global, di samping variabilitas iklim alami yang diamati pada skala waktu yang sama. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* atau IPCC (IPCC, 2001), perubahan iklim didefinisikan sebagai setiap perubahan dalam iklim sepanjang waktu, baik yang disebabkan oleh variasi alami atau sebagai hasil dari aktifitas manusia.

Secara alami, perubahan iklim disebabkan oleh berbagai faktor yaitu *orbital forcing*, *solar forcing*, variasi *total solar irradiance* (TSI) dan *spectral (wavelength dependent) solar irradiance* (SSI) dan erupsi gunung berapi (Gambar 96)

Pengaruh antropogenik pada perubahan iklim dipicu oleh semakin meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK) sebagai konsekuensi pemanfaatan bahan bakar fosil terutama sejak revolusi industri. Ada empat GRK utama yang dihasilkan oleh kegiatan antropogenik yaitu karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen oksida (N_2O) dan halokarbon (grup gas yang mengandung fluorine, klorin dan bromin) (IPCC, 2001; 2014).

Revolusi industri tahun 1850 yang dimulai di Inggris ibarat mata uang yang mempunyai dua sisi yang berbeda dan saling bertolak belakang. Sisi



Gambar 96.

Anomali suhu global 1870-2010 dan faktor alami dan antropogenik yang mempengaruhinya. (a) Suhu permukaan global (1870-2010) relatif terhadap suhu permukaan rata-rata 1961-1990 (garis hitam), (b) Suhu estimasi sebagai respon dari *solar forcing*, (c) suhu estimasi sebagai respon dari erupsi gunung berapi, (d) estimasi variabilitas suhu karena variabilitas internal – terkait ENSO, (e) estimasi suhu terkait pengaruh antropogenik (terdiri dari komponen pemanasan dari gas rumah kaca dan komponen pendinginan dari kebanyakan aerosol). (Credit: Masson-Delmotte, 2013)

pertama menggambarkan kemajuan ekonomi di mana terjadi pertumbuhan ekonomi yang signifikan, peningkatan pendapatan, perubahan alokasi tenaga kerja serta peningkatan produksi barang-barang oleh pabrik (Stokey, 2001). Lebih lanjut dijelaskan bahwa pertumbuhan ekonomi didorong oleh perdagangan luar negeri serta adanya peningkatan teknologi yang digunakan untuk memproduksi barang-barang.

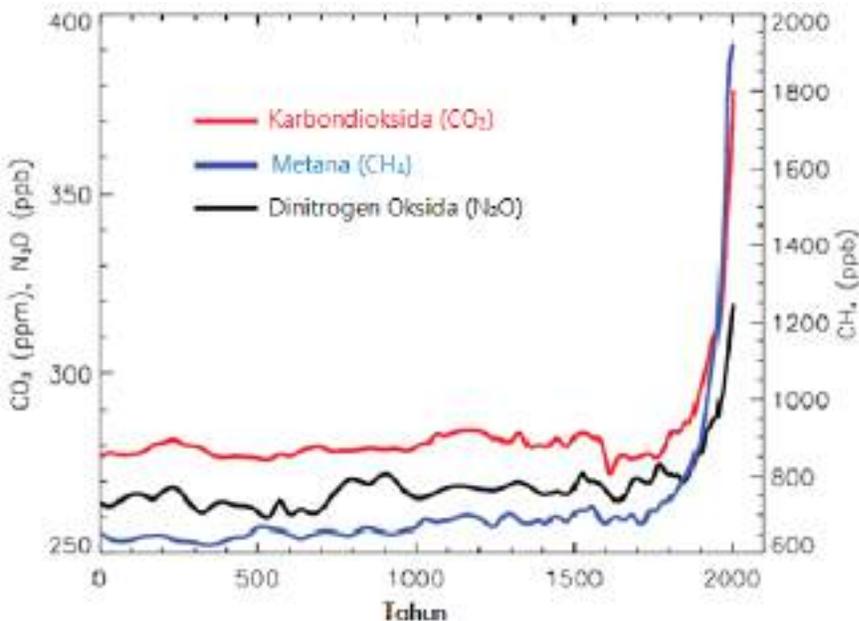
Sisi kedua menggambarkan bagaimana peningkatan teknologi membawa dampak pada lingkungan bahkan dampaknya bisa dirasakan sampai sekarang. Penemuan mesin uap oleh James Watt pada tahun 1769 menggeser penggunaan kincir air (*waterwheel*) oleh industri sehingga terjadi peningkatan kebutuhan tenaga uap di mana bahan bakar utama mesin tenaga uap adalah batubara. Dengan demikian, kebutuhan akan batubara meningkat dan produksi batubara di Inggris pada periode waktu 1769 – 1800 juga ikut meningkat (Stephenson, 2013). Pemakaian batubara meningkat juga disebabkan oleh makin banyaknya pengguna baik dalam skala industri maupun rumah tangga untuk kebutuhan pemanasan. Emisi dari pembakaran

batubara pada saat itu hampir mencapai 100 juta ton CO_2 per tahun. Kenaikan emisi inilah yang dianggap menjadi penyebab terjadinya masalah-masalah lingkungan.

Dampak dari besarnya emisi CO_2 menurut Stephenson (2013) dirasakan pertama kali saat terjadi kabut tebal di London pada kurun waktu Desember 1952 – Maret 1953 yang disebabkan oleh kombinasi penurunan suhu yang tiba-tiba, asap dan peningkatan penggunaan kendaraan berbahan bakar diesel. Asap dan partikulat hasil pembakaran batubara terperangkap dalam kabut dan kemudian menimbulkan masalah terutama pada sistem pernapasan. Sekitar 4000 orang meninggal saat itu bahkan bertambah pada bulan-bulan berikutnya.

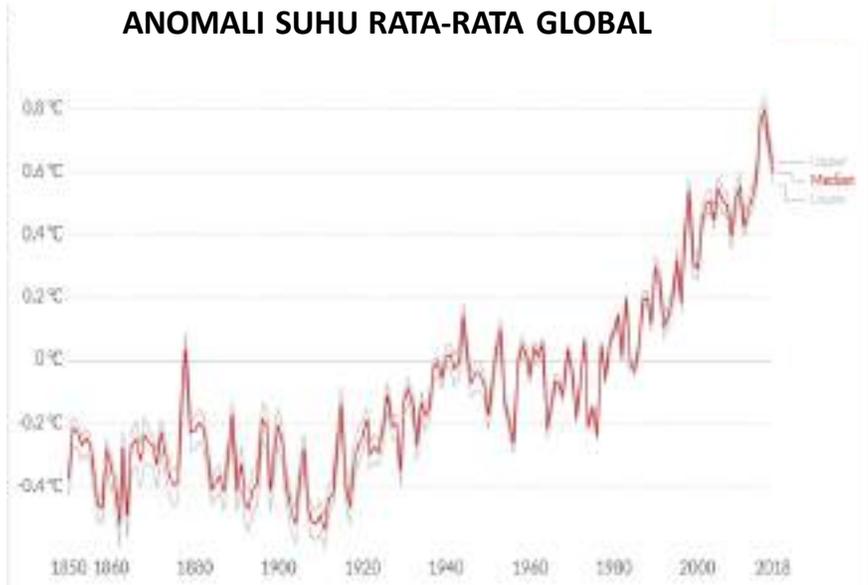
Hujan asam adalah masalah lain yang timbul akibat pembakaran batubara. Belerang (sulfur) yang ada di batubara beroksidasi menjadi belerang dioksida (SO_2). Kandungan belerang dioksida yang ada di atmosfer ini kemudian larut dalam air hujan membuat air hujan tersebut menjadi asam. Hujan asam dapat menurunkan hasil pertanian, mengubah tingkat keasaman tanah dan membuat perairan menjadi lebih asam.

Masalah terakhir yang timbul akibat peningkatan penggunaan batubara adalah terjadinya peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) yang secara jangka panjang menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Peningkatan GRK terjadi sejak zaman revolusi industri (Gambar 97). Akibat dari peningkatan dan akumulasi GRK di atmosfer menyebabkan suhu permukaan bumi dan laut naik, di mana perubahan suhu rata-rata global sejak zaman revolusi industri yang mencapai $1,2^\circ\text{C}$ (Gambar 98).

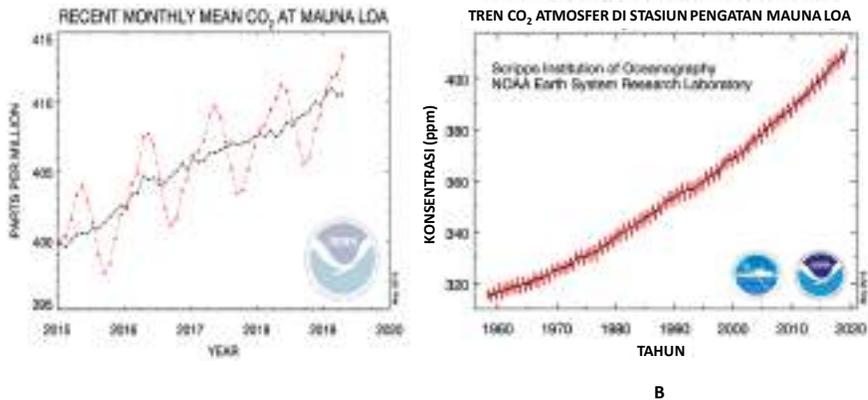


Gambar 97. Peningkatan Konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) sejak sebelum masa revolusi industri hingga tahun 2005. Sumber : IPCC, (2007)

Gambar 98. Anomali suhu rata-rata global diukur relatif dari tahun 1961-1990. Garis merah adalah nilai tengah perubahan suhu rata-rata, garis abu-abu adalah batas atas dan bawah selang kepercayaan 95 % (Sumber : <https://ourworldindata.org/co2-and-othergreenhouse-gasemissions#>)



Gambar 99. Konsentrasi CO₂ di atmosfer, (a) rata-rata bulanan tahun 2015 – Maret 2019 (Garis merah adalah nilai rata-rata bulanan; Garis Hitam adalah nilai rata-rata bulanan setelah dikoreksi dengan rata-rata siklus musiman), (b) Rata-Rata bulanan tahun 1958 – 2019. (Sumber: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>)



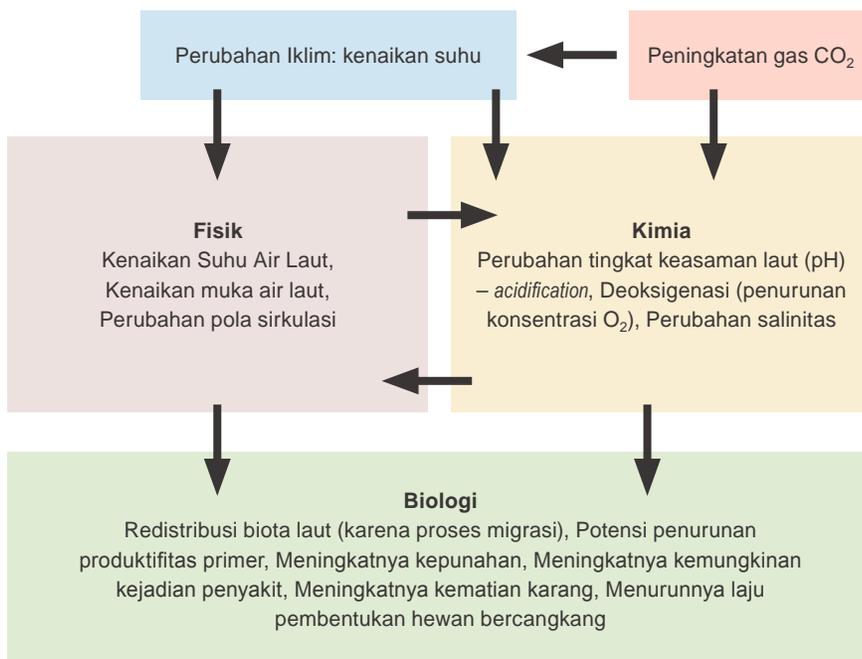
Peningkatan emisi CO₂ ini ternyata terus terjadi. Sebagaimana yang terekam dalam data time series milik NOAA di stasiun pengamatan Mauna Loa – Hawaii, yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan CO₂ yang signifikan sejak tahun 1960-an (Gambar 98). Rata-rata CO₂ pada bulan Maret 2014 tercatat sebesar 399,58 ppm lebih kecil daripada yang tercatat pada bulan Maret 2015 (401,52 ppm). Laju rata-rata peningkatan CO₂ meningkat dari 0,8 ppm di tahun 1960-an (1960 – 1969) menjadi hampir 2 ppm per tahun sampai dengan Agustus 2013.

7.3 Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Kelautan dan Perikanan

7.3.1 Dampak Pada Sektor Kelautan

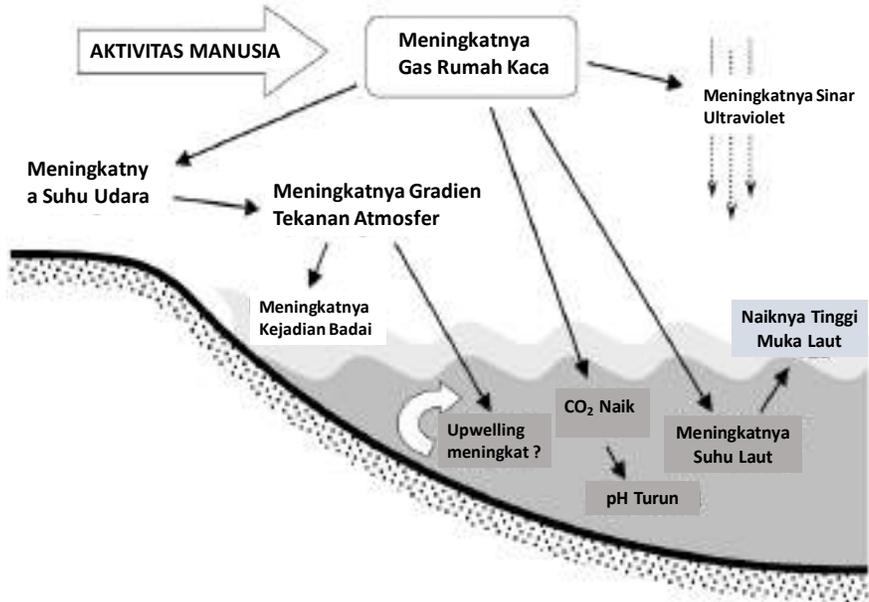
Telah banyak hasil penelitian yang membahas tentang dampak perubahan iklim dan kenaikan konsentrasi CO₂ terhadap laut (Rhein *et al.*, 2013; Bijma *et al.*, 2013). Dampak peningkatan gas CO₂ dan perubahan iklim di laut disarikan seperti pada gambar 99. Peningkatan gas CO₂ menyebabkan terjadinya kenaikan suhu permukaan bumi. Kenaikan suhu permukaan ini akan mempengaruhi komponen fisik dan kimia laut. Sementara itu, kenaikan konsentrasi CO₂ akan berdampak langsung pada komponen kimia. Kedua komponen ini berasosiasi dan memberikan dampak yang lebih besar (Gambar 100).

Akibat berubahnya fisik dan kimia laut maka komponen biologi juga terdampak. Ibarat sebuah rumah, laut menaungi banyak biota laut. Apabila rumah ini diganggu maka para penghuni akan merasakan dampaknya. Biota penghuni laut akan terganggu apabila karakteristik air laut berubah baik secara fisik maupun kimia. Perubahan karakteristik ini berarti akan merubah sistem biologis baik dalam skala mikro (molekular) (Portner, 2002) sampai pada skala makro (migrasi, ruaya). Respon langsung komponen biologi disarikan pada gambar 101.



Gambar 100. Gambaran skematik pengaruh peningkatan CO₂ dan perubahan iklim pada laut

Gambar 101.
Perubahan
fisik laut yang
berkaitan dengan
perubahan iklim
(Photo credit:
Harley *et al.*,
2006)

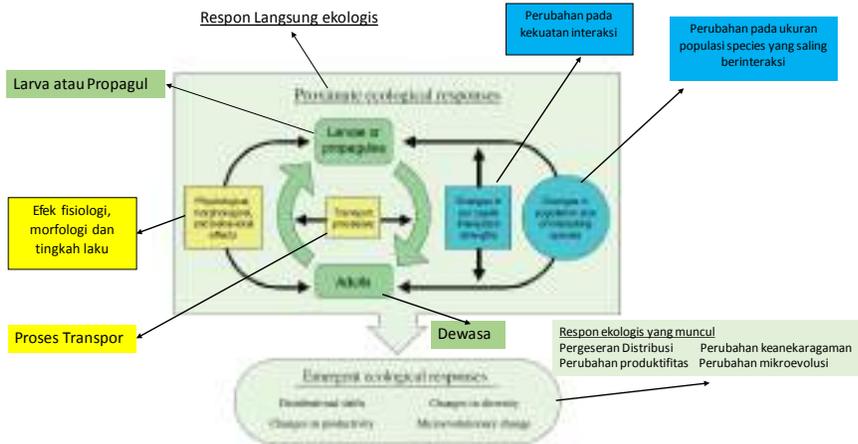


7.3.1.1 Kenaikan tinggi muka laut

Naiknya tinggi muka air laut adalah salah satu dampak dari perubahan iklim. Tinggi muka air laut ini rata-rata naik hingga 3,2 mm per tahunnya. Kenaikan tinggi muka air laut ini dihitung dari suatu posisi standar yang dinyatakan dengan tinggi muka air laut rerata (*mean sea level*). Sejak tahun 1900 (masa awal revolusi industri) hingga 2016 muka air laut telah naik setinggi 16 - 21 cm, di mana kenaikan sekitar 7.5 cm dicapai sejak 25 tahun terakhir.

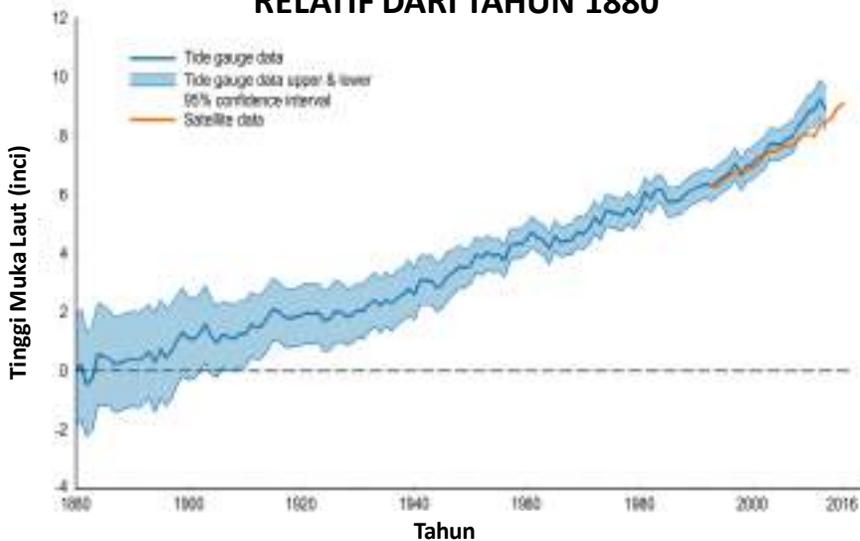
Penyebab utama dari naiknya muka air laut adalah pemanasan global yang disebabkan oleh efek GRK akibat pemakaian bahan bakar fosil sejak revolusi industri. Pemanasan global memicu mencairnya formasi es yang berada di pegunungan tinggi maupun di wilayah Antartika. Sebenarnya pada kondisi normal mencairnya es ini dapat diimbangi dengan pembentukan formasi es, misalnya di musim dingin wilayah-wilayah lintang tinggi. Namun demikian pada kondisi perubahan iklim kesetimbangan ini terganggu sehingga proporsi mencairnya es lebih tinggi dari proses pembentukan formasi es yang memicu naiknya tinggi muka air laut. Laju dan kondisi naiknya tinggi muka air laut ini tidak sama di setiap tempat tetapi dipengaruhi juga oleh kondisi-kondisi lokal seperti dinamika elevasi permukaan tanah, pasang surut, arus, dan angin.

Menurut laporan IPCC (Rhein *et al.*, 2013), tinggi rata-rata global air laut naik sebesar 0,19 m selang tahun 1901 – 2010. Laju rata-rata kenaikan air laut periode 1901 – 2010 dari 1,7 mm y^{-1} naik menjadi 3,2 mm y^{-1} . Gambar 103 memperlihatkan tren kenaikan muka air laut berdasarkan analisa *proxy*



Gambar 102. Potensi respon ekologi terhadap perubahan iklim (Credit : Harley et al 2016)

PERUBAHAN TINGGI MUKA LAUT GLOBAL RELATIF DARI TAHUN 1880



Gambar 103. Kenaikan tinggi muka air laut sejak 1880 (Photo credit : EPA, 2016)

paleoclimate serta data hasil pengukuran *tide gauge* dan altimetri. Dari Gambar 103 terlihat bahwa terjadi kenaikan muka air laut yang cukup signifikan pada sekitar akhir abad ke-19 atau awal abad ke 20.

Penelitian yang dilakukan oleh Sofian (2010) mendapatkan hasil bahwa kenaikan muka air laut di sekitar perairan Indonesia terjadi pada laju 0.2 - 1 cm / tahun, dengan laju rata-rata 0.6 cm / tahun. Laju tertinggi terjadi di Samudra Pasifik, utara dari Papua dengan laju 1 cm / tahun. Kenaikan muka laut terkecil terjadi di Selatan Jawa dengan lajur 0.2 cm - 0.4 cm / tahun. Pada tahun 2030

kenaikan muka laut akan mencapai 6 - 30 cm / tahun di mana untuk wilayah Indonesia kenaikan muka laut berkisar 15-18 cm (Gambar 104) . Prediksi ini akan terus meningkat dengan berjalannya waktu menurut proyeksi post AR4 IPCC (Gambar 105). Menurut skenario ini kenaikan muka laut akan mencapai 175 cm pada tahun 2100 secara relatif dibandingkan tahun 2000. Muka laut diprediksi akan meningkat 52.5 cm tahun 2030; 87.5 cm tahun 2050 dan 140 cm tahun 2080.

Hasil pengukuran altimetri muka laut di lima pelabuhan perikanan Indonesia (Gambar 106) menunjukkan adanya tren kenaikan muka laut dari tahun 2004-2008 (Gambar 107). Di PPS Nizam Zachman, terjadi kenaikan 0,75-0,76 cm/tahun dengan tingkat kerentanan yang tinggi. Namun kenaikan ini belum memperhitungkan perubahan vertikal tanah.

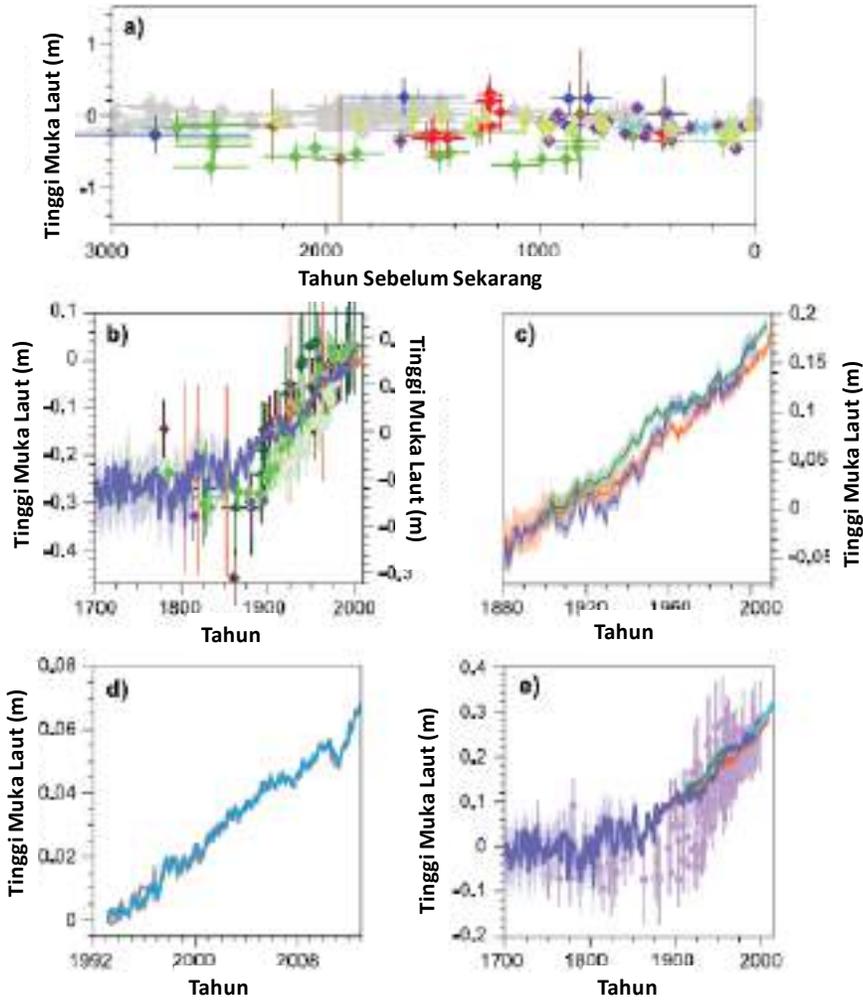
Kenaikan muka air laut ini, apabila ditambahkan dengan kegiatan manusia yang mengeksploitasi bahkan merusak sumber daya yang ada di pulau terutama pulau-pulau kecil, dapat mengakibatkan hilangnya sebagian daerah pantai akibat terendam air laut. Hilangnya daerah pantai ini dapat menjadi ancaman bagi masyarakat sekitar karena berkurangnya ruang untuk hidup dan berusaha. Demikian pula dengan terendahnya daerah pantai ini akan mempersempit daerah tumbuh tumbuhan pantai seperti mangrove. Kemungkinan paling ekstrim yang bisa terjadi akibat kenaikan muka air laut ini adalah tenggelamnya pulau. Kerugian yang akan timbul akibat tenggelamnya pulau mungkin tidak akan terasa terlalu signifikan pada pulau-pulau yang tak berpenghuni. Namun demikian, apabila pulau itu terletak pada daerah terluar dan menjadi patokan penentuan batas baik antar daerah maupun negara maka hal ini dapat memicu konflik horisontal dan antar negara.

Dampak Kenaikan Tinggi Muka Air Laut

Walaupun kondisi naiknya tinggi muka air laut dapat bervariasi secara lokal karena berbagai faktor lokal seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dampak yang diakibatkan secara umum sama, antara lain:

(1) Dampak pada masyarakat pesisir.

Naiknya tinggi muka air laut mempunyai dampak yang merugikan baik secara sosial maupun ekonomi terhadap masyarakat pesisir akibat erosi pantai, penggenangan lahan dan juga intrusi air laut. Penggenangan pemukiman akan memicu migrasi yang dapat berdampak pada masalah-masalah demografi dan sosial ekonomi. Intrusi air laut akan berakibat pada sumber minum air tawar dan pada usaha atau sektor yang berhubungan dengan agrikultur. Sektor pariwisata yang bersandar pada wilayah pesisir juga akan terdampak. Meningkatnya tinggi muka air laut dan anomali-anomali cuaca akibat perubahan iklim antara lain juga akan diiringi oleh meningkatnya kejadian cuaca ekstrim seperti badai

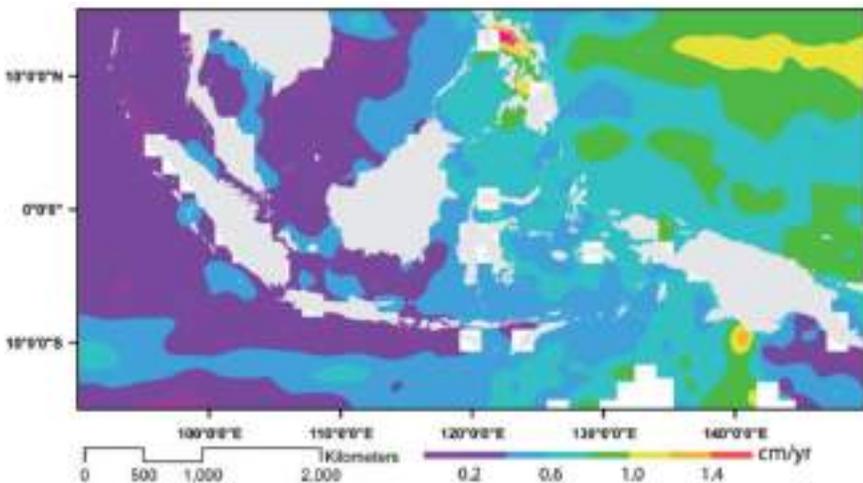


Gambar 104.
(a) Data Paleo 3000 thn terakhir dari Kutub Utara dan Selatan,

b) Data Paleo dari Salt marshes sejak 1700 dari kutub utara dan selatan dibandingkan dengan data tide gauge (biru). Axis kiri untuk data paleo dan kanan untuk tide gauge,

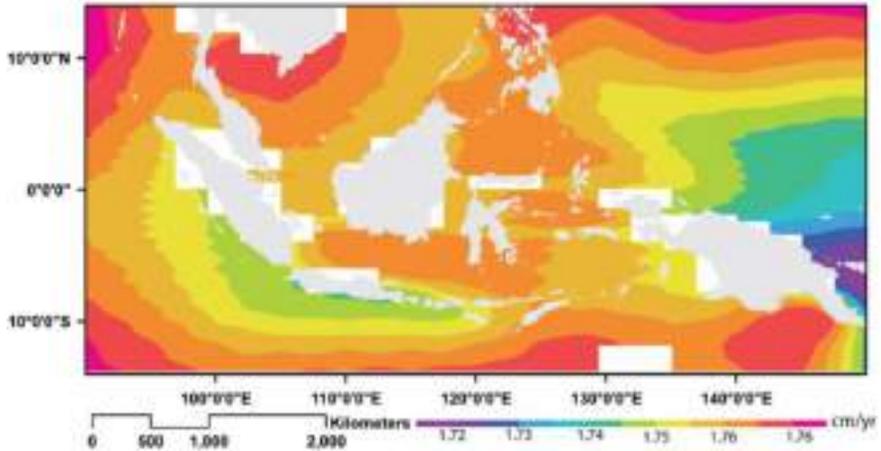
c) Rata-rata tahunan MSL global dari data tide gauge dari 3 sumber,

d) Data altimetry dari 5 kelompok (CU, NOAA, GSFC, AVISO, CSIRO). Data rata-rata berwarna biru, e) Data perbandingan. (Photo credit : Church *et al*, 2013)



Gambar 105
Tren kenaikan muka air laut berdasarkan data altimeter dari Januari 1993 - Desember 2008 (Photo credit: Sofian, 2010)

Gambar 106.
 Proyeksi
 kenaikan muka
 air laut menurut
 skenario post
 AR4 IPCC
 (Photo credit :
 Sofian, 2010)



dan topan. Semua akibat ini akan berpengaruh negatif terhadap tempat tinggal masyarakat pesisir dan nafkah hidupnya (Frank, 2009). Keadaan cuaca ekstrim ini selain akan berdampak langsung pada keamanan dan keselamatan manusia, juga akan berdampak negatif terhadap eksistensi dan keberlangsung ekosistem pesisir kunci, seperti karang, mangrove dan lamun.

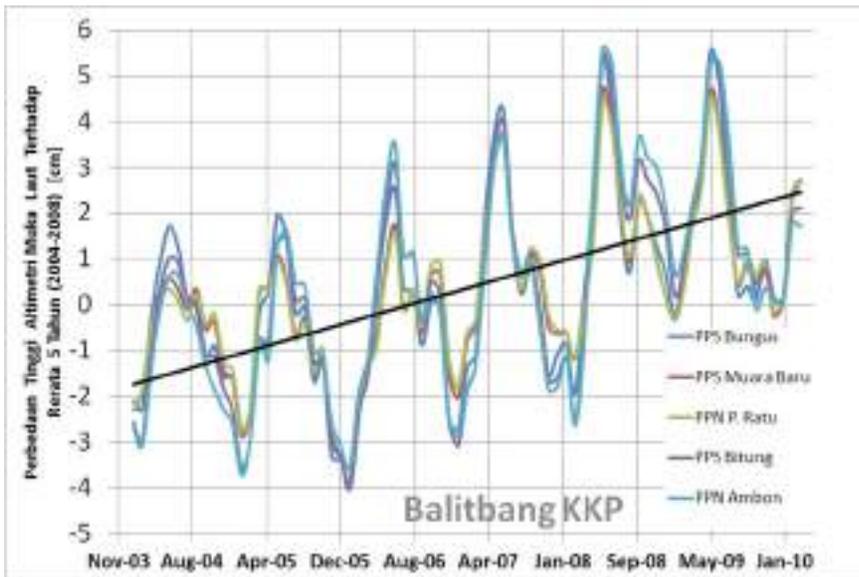
(2) Dampak ekologis pada ekosistem

Mangrove. Akibat kenaikan suhu mangrove diprediksi akan terdampak dalam beberapa aspek. Mangrove diperkirakan akan bermigrasi ke wilayah lintang tinggi. Pada suhu di atas 25°C mangrove diprediksi akan terganggu dalam pembentukan daun. Selain itu struktur perakaran dan proses fotosintesis juga akan terganggu. Menurunnya presipitasi akan perubahan iklim juga akan berdampak pada menurunnya keanekaragaman, produktivitas, pertumbuhan dan regenerasi mangrove (McLeod and Rodney, 2006)

Karang. Akibat kenaikan suhu, kejadian pemutihan karang (*bleaching*) akan meningkat yang jika terjadi pada kondisi ekstrim maka bisa mematikan karang. Pengasaman laut adalah dampak lain dari perubahan iklim di mana sifat kimia air laut akan berubah akibat naiknya CO₂. Pada kondisi ini ion karbonat air laut akan berkurang dan mengakibatkan berkurangnya proses kalsifikasi, pertumbuhan dan kekuatan struktur karang. Naiknya muka air laut akan mengakibatkan berkurangnya cahaya yang dibutuhkan oleh *zooxanthellae*, simbiosis yang berasosiasi dan dibutuhkan oleh karang. Semua hal ini dapat berakibat pada matinya karang yang pada gilirannya akan berdampak pada sektor perikanan karang dan juga pariwisata (Grimsditch *et al.*, 2006).



Gambar 107. Lokasi Pelabuhan Perikanan Indonesia



Gambar 108. Tren kenaikan muka laut di lima pelabuhan perikanan di Indonesia (Sumber : Data Balitbang KP 2015)

Lamun. Naiknya suhu akibat perubahan iklim akan berdampak pada turunnya metabolisme, pertumbuhan dan kesetimbangan karbon pada lamun. Hal lain yang terdampak adalah pada perubahan distribusi dan regenerasi lamun. Kenaikan suhu juga akan meningkatkan alga dan epifit yang kemudian akan berkompetisi dengan lamun. Sebagaimana terjadi dengan karang, kenaikan tinggi muka air laut akan mengakibatkan berkurangnya pasokan cahaya untuk lamun, yang berdampak pada tidak maksimalnya proses fotosintesis (Björk *et al.*, 2008).

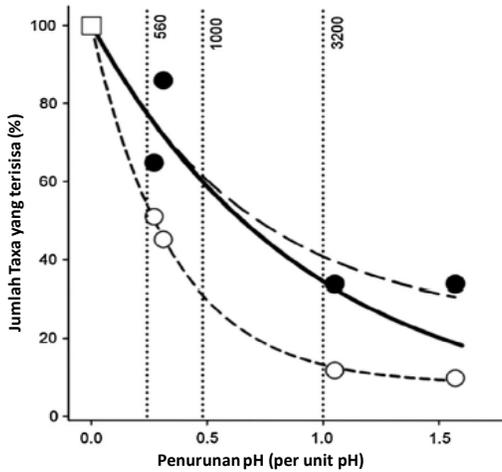
Gambar 109. Kejadian badai Irma, Jose dan Katia di Laut Karibia dan Samudra Atlantik yang diprediksi akan semakin ekstrim akibat perubahan iklim. (Photo credit : Handout/Getty Images)



7.3.1.2 Pengasaman Air Laut (*Ocean Acidification*)

CO₂ adalah gas rumah kaca utama penyebab pemanasan global yang mengakibatkan dampak perubahan iklim yang telah terjadi di berbagai belahan dunia, seperti kekeringan dan kebakaran hutan, naiknya muka air laut dan meningkatnya intensitas dan periode hujan yang berakibat banjir. Bumi sebenarnya telah dilengkapi dengan penyerap CO₂ alami, yaitu atmosfer, daratan dan lautan. Namun penebangan hutan yang marak mengakibatkan stok karbon yang tersimpan di dalam vegetasi menjadi terlepas ke atmosfer dan menurunkan kemampuan alami daratan dalam menyerap CO₂ sehingga perhatian mulai ditujukan ke laut. Laut adalah penyerap CO₂ alami (*natural CO₂ sink*) terbesar di bumi (Raven and Falkowski, 1999), di mana CO₂ dapat larut di dalam air atau dimanfaatkan oleh fitoplankton menjadi biomassa melalui proses fotosintesa. Namun angka penyerapan CO₂ oleh laut masih bervariasi dan menjadi penelitian intensif.

Sabine *et al.*, (2004) menyatakan kemampuan laut hingga 48 persen dalam menyerap CO₂. Penelitian lain menyebutkan dari total 4 – 5 Pg C emisi tiap tahun ke atmosfer, sekitar 2 Pg C diserap laut, yang ± setara dengan 50 persennya (Cai *et al.*, 2006). Hasil lain menyebutkan sekitar 90 Gigaton (Gt) karbon / tahun dilepaskan dari permukaan lautan di seluruh dunia, sementara penyerapan tahunan oleh lautan sebesar 92 Gt, sehingga terdapat penyerapan bersih CO₂ Oleh laut sekitar 2 Gt setiap tahunnya (Fletcher *et al.*, 2006). Namun demikian akibat proses penyerapan CO₂ yang berlebih, khususnya yang terjadi sejak masa revolusi industri mengakibatkan apa yang disebut sebagai pengasaman laut (*ocean acidification*). Pengasaman laut ini juga sering disebut sebagai "masalah CO₂ yang lain" (*the other CO₂ problem*).



Gambar 110. Perubahan keanekaragaman sebagai fungsi dari penurunan pH untuk biota yang hidup dekat dengan cerobong CO₂ di Ischia, Italy (Credit: Bijma et al., 2013)

Secara sederhana proses pengasaman laut ini terjadi karena penyerapan CO₂ mengakibatkan menurunnya derajat keasaman, yang sering dinyatakan dengan parameter pH. Dalam keadaan normal, air laut bersifat sedikit basa (pH > 7) dan pengasaman laut menyebabkan perubahan pH ke arah nilai netral. Menurut prinsip kesetimbangan kimia, saat CO₂ berinteraksi dengan air laut maka akan terbentuk asam karbonat (*carbonic acid*). Beberapa molekul asam karbonat ini kemudian akan terpecah membentuk ion bikarbonat dan ion hidrogen (ion H⁺) yang akan meningkatkan tingkat keasaman laut. Antara tahun 1751 hingga 1996 pH air permukaan laut diperkirakan berkurang dari sekitar 8.25 ke 8.14 yang setara dengan peningkatan 30 persen konsentrasi ion H⁺. Pengasaman laut akan berdampak signifikan terutama pada biota laut yang bercangkang karbonatan dan mempunyai kemampuan kalsifikasi (membentuk cangkang karbonatan), seperti karang. Akibat kondisi yang asam terumbu karang akan terdisolusi dan hewan karang akan kesulitan membentuk cangkang atau terumbu. Pada akhirnya kondisi perikanan karang dan pariwisata akan terdampak, yang akan berpengaruh terhadap kondisi sosial-ekonomi masyarakat pesisir.

7.3.1.3 Pemutihan Karang

Pemutihan karang (*coral bleaching*) merupakan kondisi hilangnya warna karang akibat terputusnya simbiosis antara karang dengan *zooxanthellae* yang menyebabkan karang sebagai inang mengeluarkan sebagian besar *zooxanthellae*, yang memberi warna, dari dalam jaringan tubuhnya (Gambar 111 dan Gambar 112). Pemutihan karang masal terjadi pada saat suhu permukaan laut meningkat 1–2°C SST di atas suhu maksimum jangka panjang di lokasi tersebut (Strong *et al.*, 2011). Penelitian juga menunjukkan kejadian pemutihan karang masal berasosiasi dengan ENSO (*El Niño Southern Oscillation*, Hoegh-Guldberg 1999).

Gambar 111. Kondisi Terumbu Karang yang sehat dan mengalami pemutihan di Great Barrier Reef (Photo credit: Dr Lyle Vail, Direktur museum stasiun riset Pulau Lizard, Australia/The Guardians.com)



Gambar 112. Proses Pemutihan Karang (Photo credit: Direktorat KKHL, 2016)

Sebagai negara dengan terumbu karang yang luas, Indonesia tidak terlepas dari kejadian pemutihan karang masal, termasuk pada tahun 1998, 2010, dan 2016 yang merupakan kejadian pemutihan karang masal global (Gambar 113). Namun, tidak semua terumbu karang mengalami pemutihan (Gambar 113). Terumbu karang yang mengalami pemutihan pun memiliki tingkat yang berbeda antar lokasi. Secara umum, hal ini terjadi karena karang memiliki tingkat resistensi yang berbeda. Karang yang mengalami pemutihan, tidak berarti sudah mati. Kematian masal dapat terjadi apabila suhu ekstrim



Gambar 113.
Peta sebaran kejadian laporan pemutihan karang: Edisi 28 Maret – 21 April 2016 (Photo credit: Direktorat KKHL, 2016)

terjadi berkepanjangan. Selain itu tingkat mortalitas juga dipengaruhi oleh tingkat resiliensi dari spesies karang maupun komunitas karang secara ekosistem.

Karang yang kehilangan mayoritas *zooxanthellae* dapat mengalami kematian karena hilangnya sumber makanan utama yang dapat menyebabkan kondisi kelaparan. Melemahnya kondisi karang dapat menimbulkan berbagai penyakit, ketidakmampuan memperbaiki kerusakan sel, dan hilangnya kemampuan berkompetisi dengan organisme lain (Baker *et al.*, 2008; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2014; Glynn dan Manzello 2015).

Tidak hanya tingkat kenaikan suhu yang menyebabkan terjadinya pemutihan karang. Durasi suhu ekstrim juga sangat berpengaruh terhadap kemampuan karang untuk mempertahankan *zooxanthellae*. Suhu sangat ekstrim yang terjadi dalam waktu singkat dapat memiliki efek yang sama dengan sedikit peningkatan suhu dalam jangka waktu yang lama. Untuk itu, NOAA secara khusus memonitoring dan memprediksi potensi pemutihan karang dalam satuan *Degree Heating Week* (DHW) yang mengkombinasi tingkat kenaikan suhu dengan durasi. Satu DHW merupakan tingkat terendah yang berarti kenaikan suhu sebesar 1°C selama 1 pekan. Tingkat 4 DHW merujuk pada potensi mulai terjadi pemutihan karang yang diakibatkan oleh kenaikan 4°C selama 1 pekan atau kenaikan 1°C selama 4 pekan. Pemutihan karang umumnya terjadi pada tingkat 8 DHW di mana kemungkinan terjadi akibat kenaikan 4°C selama 2 pekan atau kenaikan 1°C selama 8 pekan atau 2 bulan.

Gambar 114.
Sistem Kesiagaan
Pemutihan
Karang (*bleaching
alert system*) -
NOAA. (Photo
credit : [https://
coralreefwatch.
noaa.gov/satellite/
index.php](https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/index.php))



Untuk membantu pemantauan kejadian pemutihan karang masal, NOAA menyediakan fasilitas sistem kesiagaan pemutihan karang (*bleaching alert system*) (Gambar 114). Sistem ini akan memberitahu lokasi-lokasi yang berpotensi mengalami pemutihan karang berdasarkan status DHW. Penggiat terumbu karang dapat secara gratis berlangganan pelayanan ini dan NOAA akan mengirim berita apabila ada status kesiagaan yang perlu diperhatikan di lokasi tertentu. Ini dapat membantu pemantauan kejadian pemutihan karang.

7.3.2 Dampak Pada Sektor Perikanan

Saat ini perubahan iklim memberikan dampak yang sangat luas terhadap kelangsungan biota perairan, ekosistem perairan khususnya sektor perikanan (perikanan tangkap dan budidaya). Meningkatnya suhu perairan laut dan tingginya derajat keasaman akan memberikan dampak langsung terhadap organisme laut seperti udang, tiram dan karang di mana biota laut bercangkang tersebut mengalami kesulitan dalam proses pembentukan cangkangnya (kalsifikasi). Selain itu, mikroorganisme seperti zooplankton, yang dikenal sebagai pondasi rantai makanan laut sangat tergantung dengan proses cangkang dari material kalsium. Terganggunya mata rantai makanan akan mengakibatkan perubahan besar dalam pola distribusi, produktivitas, komposisi jenis dan stok. Di sisi lain, perubahan iklim terutama naiknya suhu dan muka air laut akan mengubah pola migrasi, reproduksi dan ukuran stok pada ikan-ikan pelagis seperti ikan tembang (*herring*), ikan teri, makarel. Pada beberapa kasus biota laut spesifik, kenaikan suhu air laut akan mendorong terjadinya migrasi ikan-ikan tertentu ke daerah yang lebih dalam dan atau beruaya ke habitat baru yang akan mengakibatkan ketidakseimbangan ekologis.

Pada konteks perikanan tangkap, selain penyebab *overfishing*, suhu, angin, pencampuran massa air secara vertikal, salinitas, oksigen, pH tengah

menambah kompleksitas permasalahan perikanan tangkap baik di lautan maupun di daratan (*inland fisheries*), yang mendorong terciptanya kondisi yang tidak ideal bagi populasi ikan target atau sampingan lainnya (*by catch*) (Brander, 2010). Kondisi tidak ideal tersebut memicu populasi ikan dan target tangkapan lainnya menjadi sangat agresif dan sensitif terhadap perubahan lingkungannya. Berdasarkan model analisis perikanan tangkap, FAO (2018) mengestimasi terjadinya penurunan potensi tangkapan maksimum khususnya di zona ZEE di seluruh dunia yang turun 2,8-5,3 persen pada 2050. Estimasi ini didasarkan pada skenario protokol emisi gas rumah kaca RCP2.6. Potensi tangkapan maksimum akan menurun drastis pada 2050 sebesar 7.0-12,1 persen jika menggunakan skenario RCP8.5. Proyeksi ini didasarkan pada kemampuan daya dukung lautan untuk menghasilkan target biota tangkapan, bukan berdasar pada pertimbangan pengambil keputusan suatu negara atau kelompok negara.

FAO (2018) mengklasifikasikan bahwa Pakistan, Irak dan Spanyol adalah tiga negara dengan sektor perikanan yang diproyeksikan paling berdampak akibat perubahan iklim tersebut. Sedangkan Myanmar, Kamboja, Kongo, Afrika Tengah, dan Kolombia menjadi sederetan negara yang paling beresiko rendah berdampak perubahan iklim. Mengingat proyeksi ini bersifat global, dampak perubahan iklim pada bagian dunia tropis, level regional, nasional dan kewilayahan diproyeksikan jauh lebih ekstrim.

Pada konteks perikanan budidaya, perubahan suhu (perairan dan udara) akan mengakibatkan perubahan kondisi oseanografi termasuk arus, gelombang dan kecepatan angin. Perubahan tersebut akan memberikan dampak yang serius pada usaha Keramba Jaring Apung (KJA) dan budidaya rumput laut.

Dalam jangka pendek, dampak perubahan iklim pada sektor perikanan budidaya meliputi kerugian infrastruktur karena banjir, resiko penyakit, parasit dan pasang merah (*Harmful algal blooms*). Sedangkan dampak jangka panjang meliputi berkurangnya ketersediaan benih di alam, dan kurangnya curah hujan sebagai sumber stok air tawar. Negara-negara Asia yang paling rentan dengan kondisi ini (budidaya air tawar) meliputi Vietnam, Bangladesh, Republik Demokratik Rakyat Laos dan Cina. Sedangkan pada ranah budidaya perikanan laut, Norwegia dan Chili diidentifikasi sebagai negara yang paling rentan, karena produksinya yang tinggi. Perubahan iklim, suhu, curah hujan, pengasaman laut, kejadian dan luasnya hipoksia dan kenaikan permukaan laut, diproyeksikan memiliki dampak jangka panjang di Indonesia pada semua skala budidaya perikanan (FAO, 2018).

Sektor perikanan tangkap dan budidaya perikanan menyumbang kontribusi CO₂ pada level emisi global sebanyak 172,3 juta ton (armada penangkapan) pada 2012, atau setara dengan 0,5 persen dari total emisi CO₂. Sedangkan industri perikanan budidaya menghasilkan 385 juta ton atau sekitar 7 persen pada level emisi global. Kedua subsektor perikanan ini dapat

menurunkan emisinya hingga 30 persen lewat desain ulang dan perbaikan konstruksi, termasuk kecepatan armada penangkapan ikan. Reduksi emisi pada subsektor perikanan budidaya dapat dilakukan lewat perbaikan teknologi perikanan budidaya untuk meningkatkan efisiensi, penggunaan energi terbarukan dan perbaikan rasio konversi pakan atau *Feed Conversion Rates* (FCR).

7.3.2.1 Perubahan Pola Waktu Penangkapan dan Pola Migrasi Ikan

Dikarenakan adanya peningkatan suhu yang akan lebih signifikan di wilayah tropik, perubahan iklim diprediksi akan menyebabkan migrasi ikan dari wilayah tropik ke wilayah lintang tinggi untuk mencari suhu yang lebih rendah. Perpindahan ini juga diprediksi karena faktor oksigen perairan dan sumber makanan yang lebih kaya. Selain itu ikan juga akan bermigrasi secara gradual vertikal lebih dalam untuk menghindari suhu yang lebih panas di permukaan. Pada tahun 2050 diprediksi sebagian besar spesies ikan di wilayah tropis akan bermigrasi ke arah subtropik atau bahkan ke arah kutub. Akibat fenomena ini maka sektor perikanan khususnya di wilayah tropis juga akan terdampak (Poloczanska *et al.*, 2013). Hasil studi yang serupa bahkan juga ditemukan untuk spesies ikan di wilayah subtropik. Penelitian telah dilakukan dengan menggunakan 16 pemodelan iklim untuk mengetahui respon hampir 700 spesies ikan di Amerika Utara terhadap kenaikan suhu. Hasil menunjukkan bahwa dua pertiga species dalam studi tersebut akan bermigrasi hingga mencapai maksimal sejauh 1000 km pada keadaan emisi tinggi, mayoritas ke arah wilayah kutub (Morley *et al.*, 2018).

Selain dari pengaruhnya terhadap pola migrasi ikan, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa meningkatnya suhu diprediksi akan berdampak pada lingkungan yang lebih kondusif bagi berkembangnya berbagai sumber penyakit ikan, seperti beberapa patogen seperti *epizootic haematopoietic necrosis* dan sindrom *epizootic ulcerative* (Lopez *et al.*, 2010).

7.3.2.2 Kemelimpahan Alga Beracun (HAB - *Harmful Algae Bloom*)

Berbagai penelitian yang mengkaitkan antara perubahan iklim dan fenomena kemelimpahan alga beracun (*Harmful Algae Blooms* / HAB) secara meyakinkan menunjukkan keterkaitan erat antara keduanya, di mana HAB menjadi lebih sering dan meluas akibat perubahan iklim (Griffith and Gobler, 2020; Gobler, 2020). Meningkatnya suhu, perubahan pada salinitas, peningkatan CO₂, perubahan curah hujan dan meningkatnya tinggi muka air laut adalah faktor-faktor yang ditengarai menyebabkan meningkatnya kejadian HAB. Fenomena meningkatnya kejadian HAB ini juga terjadi di perairan Indonesia. Sekitar akhir bulan Januari 2007 kembali terjadi adanya kematian masal ikan di perairan Barat Bali, tepatnya di wilayah Kabupaten Tabanan. Hal yang sama berulang pada minggu 1-3 bulan Maret 2007 di Lhokseumawe, Aceh Timur. Pihak berwenang dari Dinas Kelautan dan Perikanan setempat menduga

bahwa hal tersebut akibat HAB. Di Aceh bahkan terdapat dugaan HAB ini telah mengakibatkan berbagai kasus keracunan akibat makan ikan yang terpapar HAB (www.serambinews.com). Kematian masal ikan akibat HAB bukan yang pertama di Bali, hal sama telah terjadi pada tahun 1987 di perairan Kabupaten Jembrana; tahun 1994 dan 1998 di Kabupaten Badung dan Jembrana; tahun 2003 di Kabupaten Badung dan tahun 2007 ini di Kabupaten Tabanan. Jika dipandang secara geografis wilayah-wilayah tersebut terletak di perairan Barat / Selatan Bali. Wilayah lain di Nusantara yang sering mengalami HAB adalah Teluk Jakarta (Gambar 115).



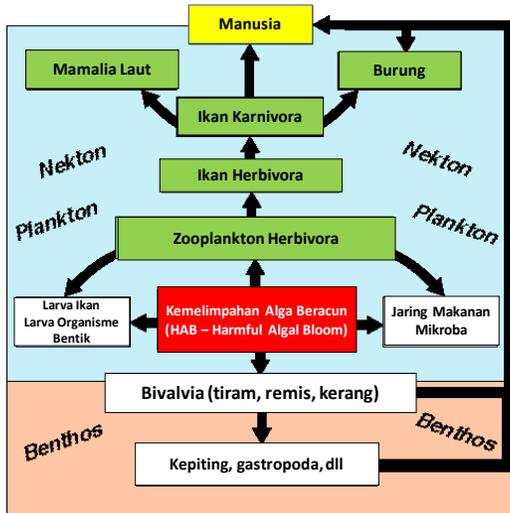
HAB: Penyebab dan Dampaknya.

HAB didefinisikan sebagai kemelimpahan fitoplankton atau alga (tumbuhan kecil yang melayang pada kolom air) baik secara kasat mata (*visible*) ataupun tidak kasat mata (*non-visible*) pada perairan, yang berdampak negatif pada ekosistem perairan dan kesehatan manusia. Jadi melimpahnya fitoplankton ini bisa 'berwarna' ataupun tidak, tergantung organismenya, tetapi intinya berdampak sebagaimana terkandung dalam definisinya. HAB adalah fenomena di mana warna perairan menjadi kuning hingga merah akibat efek pigmen dari jenis fitoplankton atau alga tertentu yang tumbuh secara cepat dan masif. Fitoplankton penyebab HAB ini biasanya berasal dari Famili *Dinoflagelata*, *Diatoms* atau *Cynobacteria*, sedangkan spesiesnya bisa berbeda menurut wilayah geografis. Sebagai contoh di daerah Teluk Maine, Amerika, fitoplankton penyebab HAB berasal dari dinoflagelata genus *Alexandrium*, sedangkan HAB di Teluk Jakarta pada kurun waktu tahun 1990-an disebabkan antara lain oleh *Trichodesmium erythraeum*, *Gonyaulax polygramma*, *Noctiluca scintillans* dan *Prorocentrum minimum* (Adnan, 1994). Spesies lain yang ditengarai menjadi penyebab HAB di Asia Tenggara termasuk berbagai wilayah di Indonesia adalah *Pyrodinium bahamense* (Azanza & Taylor, 2001)

Dampak HAB sangat merugikan baik secara kesehatan akibat keracunan pada manusia atau secara sosial ekonomi bahkan ekologi akibat kematian masal ikan dan terumbu karang. Pada ikan kematian bisa akibat dari keracunan memangsa fitoplankton beracun atau akibat adanya kekurangan

Gambar 115.
Dampak HAB
di Teluk Jakarta
(Photo credit:
Wouthuyzen,
2006)

oksigen pada perairan (*hypoxia*). Kekurangan oksigen terjadi karena saat organisme HAB mati, secara hukum rantai makanan maka akan diuraikan oleh bakteri. Proses penguraian ini memerlukan oksigen, yang mana bila organisme HAB dalam jumlah besar mati maka oksigen suatu perairan akan berkurang. Terumbu karang dapat mati akibat kurangnya cahaya tertutup organisme HAB, keracunan dan kompetisi oksigen.



Gambar 116. Rantai makanan di perairan yang terganggu akibat HAB. (Photo credit: <https://www.whoi.edu/science/B/redtide/foodweb/HABfoodweb.html>)

Selanjutnya rantai makanan (*food chain*) pada perairan yang terpapar HAB akan terganggu, karena makhluk hidup lain yang memangsa ikan yang telah memangsa fitoplankton beracun seperti burung, mamalia laut bahkan manusia juga akan keracunan bahkan pada tingkat yang akut dapat berakibat kematian (Gambar 115). Manusia juga dapat mengalami keracunan lewat kontak langsung

dengan HAB beracun misalnya karena berenang pada perairan yang terkena HAB. Dampak keracunan organisme HAB pada manusia juga bervariasi menurut jenis organisme HAB maupun tingkat intensitas keracunannya, mulai dari iritasi kulit, mual, muntah, terganggunya sistem pencernaan, syaraf, kelumpuhan hingga sampai pada kematian.

Meledaknya populasi fitoplankton penyebab HAB adalah akibat adanya kombinasi antara meningkatnya suhu perairan dan limpahan nutrisi berlebih terutama nitrat (N), fosfat (P), besi (Fe) dan atau silika (S) pada perairan yang memicu tumbuhnya populasi fitoplankton secara masif. Fakta hasil riset jangka panjang sejak tahun 1990-an di negara-negara maju yang mengalami HAB menunjukkan bahwa HAB lebih banyak disebabkan oleh limpahan materi dari daratan hasil aktivitas manusia yang memicu meledaknya populasi fitoplankton (Anderson *et al.*, 2001). Hal yang sama juga menjadi penyebab HAB di Teluk Jakarta (Wouthuyzen, 2006). Peningkatan suhu global akibat perubahan iklim meningkatkan frekuensi dan cakupan kejadian HAB ini (Griffith and Gobler, 2020; Gobler, 2020)

Untuk kasus HAB perairan Barat Bali pada Januari 2007 dan Aceh Timur pada Maret 2007 juga terdapat dugaan akibat El Nino. Seperti diketahui El Nino yang terjadi pada akhir tahun 1997 - 1998 mengakibatkan kekeringan berkepanjangan dan sekaligus menjadi pemicu kebakaran hutan pada beberapa wilayah di Indonesia. Efek panas / kering El Nino membakar hutan

Sumatra dan pola angin saat itu membawa materi kebakaran (Fe) ke perairan Barat Sumatra yang memicu tumbuhnya secara masif fitoplankton hingga terjadi HAB (Abram *et al.*, 2003). Juga terdapat dugaan bahwa hangatnya suhu perairan akibat El Nino ini merupakan kondisi yang kondusif bagi tumbuhnya fitoplankton pemicu HAB. Namun demikian faktor El Nino sebagai penyebab HAB di Bali dan Aceh pada awal 2007 masih perlu dibuktikan melalui penelitian.

7.4 Memantau Perubahan Iklim Lewat Aplikasi

Aplikasi Android iCC Indonesia adalah salah satu platform nasional yang menghimpun dampak perubahan iklim pada spektrum ekosistem perairan, baik air tawar, payau maupun perairan laut. Aplikasi ini dapat diakses oleh semua pihak yang berkepentingan dan menjadi salah satu semangat dalam upaya digitalisasi dampak *climate change* untuk multi tujuan dan para pihak. Aplikasi ini diharapkan pula menjadi *national repository*, yang dapat memberikan manfaat yang luas untuk kepentingan sains dan penyediaan referensi data untuk menyusun kebijakan mitigasi perubahan iklim.

Aplikasi iCC Indonesia menghimpun dua tipe data, pertama, seri dampak perubahan iklim pada biota akuatik, kedua, dampak perubahan iklim pada ekosistem akuatik.

Elemen data terkait dampak perubahan iklim pada biota akuatik terdiri dari *Breeding season, Migration pattern, Toxic algae, Coral bleaching, Disease, Competition, Alien and invasive species, Behaviour change, Mammals stranded, Extinction, Size and growth, Decreasing stock, Sex ratio* dan *Mass mortality*.



Gambar 117. Platform repositori iCC Indonesia (basis website dan Google-Android Application), yang didesain untuk mendokumentasikan dampak perubahan iklim pada ekosistem akuatik di seluruh Indonesia.

Sedangkan elemen data terkait dampaknya pada ekosistem akuatik yaitu *Drying habitat, Water quality, Loss habitat, Stormly weather, Rising sea level, Sedimentation, Up-welling, Transition period, Ocean acidification* dan *Abration*.

Mengingat iCC Indonesia adalah platform nasional, kontribusi semua pihak, baik personal, grup dan lembaga sangat diharapkan untuk mendapatkan data teraktual dan analisis yang solid (*robust*). Lembaga-lembaga yang berkomitmen kuat memberikan kontribusi data signifikan dan berkelanjutan dapat diinkorporasikan ke dalam anggota *join operating program* (Kadariusman *et al.*, 2019).

BAB VIII

Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim

Novi Susetyo Adi

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Terry Louise Kepel

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Anastasia Rita Tisiana Dwi Kuswardani

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Sitasi:

Adi N. S., Kepel T. L., & Kuswardani A. R. T. D. 2019. Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim , in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim

Pendekatan kunci yang paling logis untuk mengatasi masalah perubahan iklim adalah dengan mengurangi emisi gas rumah kaca. Pada kondisi sekarang, jika tidak dikendalikan, pembangunan yang dilaksanakan oleh negara-negara di dunia berpotensi untuk semakin menyumbang pada peningkatan emisi gas rumah kaca, terutama karena penggunaan bahan bakar fosil dan konversi vegetasi ke peruntukan lain. Salah satu kesimpulan utama dari para ahli iklim adalah bahwa perubahan iklim perlu diatasi dengan menekan kenaikan suhu di bawah 2°C dari suhu masa pra-industri, atau yang disebut *tipping point global temperature*. Kenaikan melebihi 2°C berpotensi akan menyebabkan efek domino dari bencana iklim global (IPCC, 2014). Pada bab ini akan disampaikan aspek-aspek kebijakan dan kelembagaan yang dibentuk untuk mengatasi masalah perubahan iklim, yaitu melalui strategi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

8.1 Gambaran Umum

Perubahan iklim mempunyai dampak secara ekonomi maupun lingkungan. Perubahan sistem produksi pangan dan bentang lahan; naiknya muka laut; bertambahnya frekuensi kekeringan, kebakaran dan banjir; meningkatnya cuaca ekstrim; hilangnya keanekaragaman jenis adalah beberapa contoh akibat dampak dari perubahan iklim. Hal-hal tersebut akan menimbulkan dampak lanjutan terhadap kehidupan manusia, terutama kerugian ekonomi dan gangguan kesejahteraan/kenyamanan. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), lembaga otoritas ilmiah antar pemerintah yang berkontribusi utama dalam implementasi Konvensi Perubahan Iklim Dunia (UNFCCC) membagi ke dalam 4 sektor untuk strategi mitigasi dan adaptasi, yaitu sektor energi, industri, AFOLU (pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lain) dan limbah (IPCC, 2006).

Salah satu fokus utama dari agenda perubahan iklim global adalah pada sektor AFOLU ini, terutama disebabkan karena secara global sektor AFOLU adalah sumber utama emisi Gas Rumah Kaca (GRK) (Dokumen NDC Indonesia, 2016). Alasan lain adalah karena melakukan upaya mitigasi perubahan iklim pada sektor ini sekaligus akan berdampak positif terhadap upaya adaptasi perubahan iklim dan sektor keamanan pangan. Sektor pertanian merupakan sumber utama dari gas rumah kaca, yaitu sumbangannya sebesar 10-12 persen atau 5.1- 6.1 miliar ton (gigaton) CO₂ dari total emisi antropogenik global. Jika ditambah dengan adanya perubahan lahan, termasuk deforestasi, maka sumbangan sektor pertanian meningkat menjadi sepertiga dari total emisi gas rumah kaca global. Status emisi global dari sektor AFOLU ini semakin tinggi seiring meningkatnya populasi manusia, konsumsi produk-produk pertanian dan penggunaan pupuk nitrogen (Smith *et al.*, 2007). Walaupun mempunyai emisi gas rumah kaca yang tinggi, namun menurut IPCC sektor AFOLU mempunyai potensi yang baik sebagai target strategi mitigasi, terutama di negara-negara berkembang, yaitu sebesar 74 persen atau setara pengurangan 5500 - 6000 Mt (mega ton) CO₂/tahun pada 2030. Nilai ini setara dengan gabungan potensi mitigasi untuk sektor industri dan energi, dan lebih besar dari potensi mitigasi untuk sektor transportasi.

Selain merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca utama, sektor AFOLU juga terdampak perubahan iklim, yaitu antara lain dalam bentuk menurunnya efisiensi dan resiliensi produksi pertanian secara global. Di sisi lain sektor ini juga menghadapi naiknya kebutuhan konsumsi dan pemanfaatan ruang akibat kecenderungan naiknya populasi dunia. Berbeda dengan sektor lain, sektor AFOLU juga berhubungan langsung dengan faktor mata pencaharian (*livelihood*) dan keamanan pangan manusia, yang ini semua akan terdampak perubahan iklim (IPCC, 2006). Pada tahun 2050 diperkirakan bahwa dampak negatif perubahan iklim akan menurunkan asupan kalori per kapita harian dari penduduk di negara-negara berkembang sebesar 16 persen. Berdasarkan hal ini maka strategi mitigasi perubahan iklim perlu juga untuk sekaligus memasukkan aspek mitigasi perubahan iklim dan keamanan pangan yang sering disebut dengan paradigma *Climate Smart Agriculture* (CSA) (FAO, 2013). CSA merupakan strategi yang telah terbukti praktis dan inovatif yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian secara ramah lingkungan dan lestari, dan sekaligus secara bersamaan meningkatkan resiliensi sektor pertanian terhadap perubahan iklim, mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan simpanan karbon.

Pendekatan utama dalam melakukan strategi mitigasi perubahan iklim pada semua sektor, termasuk sektor AFOLU adalah melalui konsep 'kesetimbangan karbon' (*carbon-balance*) atau yang sering disebut juga sebagai 'kesetimbangan gas rumah kaca' (*GHG-balance*). Makna dari konsep ini adalah kesetimbangan bersih (*net balance*) antara semua gas rumah kaca yang diemisikan atau diserap akibat suatu program/kegiatan mitigasi dibandingkan dengan emisi/serapan gas rumah kaca jika tanpa adanya

program/kegiatan mitigasi termaksud. Konsep kesetimbangan karbon ini dapat diterapkan pada berbagai skala kegiatan, baik pada suatu proyek investasi; skala organisasi, regional, nasional hingga planet bumi.

8.2 Perkembangan Kebijakan

8.2.1 Kebijakan Global

Secara internasional, masalah iklim dunia telah mendapat perhatian sejak tahun 1979 di mana untuk pertama kali diadakan *World Climate Conference* (WCC). Hal ini kemudian diikuti dengan dibentuknya *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) oleh *World Meteorological Organization* (WMO) dan UNEP pada tahun 1988. IPCC merupakan lembaga yang mempunyai otoritas ilmiah dan berfungsi untuk memberikan masukan informasi ilmiah kepada para pemangku kebijakan berdasarkan data ilmiah perubahan iklim terbaru yang secara berkala dimutakhirkan. Hasil dari IPCC sangat berperan penting dalam penyusunan kebijakan serta proses negosiasi yang berlangsung di UNFCCC. Tugas-tugas IPCC dilaksanakan oleh 3 *Working Group* (WG), sebuah Gugus Tugas (*Task Force*) dan Kelompok Tugas (*Task Group*). WG I untuk menganalisis sains tentang sistem iklim dan perubahan iklim, WG II terkait dampak, adaptasi dan kerentanan serta WG III terkait mitigasi perubahan iklim.

Pada tahun 1992 terbentuk *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) atau Konvensi Perubahan Iklim sebagai hasil KTT Bumi (*Earth Summit*) di Rio de Janeiro, Brazil. UNFCCC adalah sebuah perjanjian internasional yang memikirkan upaya-upaya dalam mengatasi masalah perubahan iklim termasuk penurunan emisi gas rumah kaca. Secara struktur UNFCCC terdiri atas COP (*Conference of the Parties*) yang merupakan struktur paling tinggi, Sekretariat serta *Subsidiary Body* yang terdiri atas *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice* (SBSTA) serta *Subsidiary Body for Implementation* (SBI). SBSTA bertugas menjembatani informasi ilmiah yang disediakan oleh IPCC dengan kebutuhan COP yang berorientasi pada kebijakan sedangkan SBI bertugas mengkaji pelaksanaan konvensi (Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, 2016).

Salah satu langkah penting yang dihasilkan oleh UNFCCC adalah diadopsinya Protokol Kyoto tahun 1997 pada COP ke-3 di Kyoto yang merupakan skema mitigasi global. Mekanisme mitigasi ini mencakup implementasi bersama (*joint implementation - JI*), mekanisme pembangunan bersih (*clean development mechanism- CDM*) dan perdagangan emisi (*emission trading*). Protokol Kyoto mewajibkan negara-negara maju (tercantum dalam Annex I) untuk menurunkan tingkat emisi rata-rata sebesar 5,2 persen dibandingkan emisi pada tahun 1990. Di pihak lain, tidak ada kewajiban bagi negara-negara berkembang untuk mengurangi tingkat emisi.

Milestone selanjutnya dalam perkembangan aksi mitigasi perubahan iklim global adalah Perjanjian Paris (*Paris Agreement* - PA) sebagai salah satu hasil dari COP-21 di Paris. Tujuan Perjanjian Paris (Pasal 2) adalah : (1) menahan kenaikan suhu rata-rata global hingga di bawah 2° C di atas tingkat pra-industri dan berupaya membatasi kenaikan suhu hingga 1,5° C di atas tingkat pra-industri, mengakui bahwa ini akan secara signifikan mengurangi risiko dan dampak perubahan iklim; (2) meningkatkan kemampuan untuk beradaptasi dengan dampak buruk perubahan iklim dan menumbuhkan ketahanan iklim serta pembangunan rendah emisi gas rumah kaca dengan cara yang tidak mengancam produksi pangan; dan (3) Membuat aliran keuangan konsisten menuju pembangunan yang rendah emisi GRK dan tahan terhadap perubahan iklim.

Hingga saat ini, UNFCCC belum memasukkan isu laut secara formal dalam agenda persidangan UNFCCC yang diadakan setiap tahun. Baik melalui sidang *subsidiary bodies* (SB) maupun melalui COP. Isu laut masih terus diperjuangkan melalui beberapa pertemuan-pertemuan antar negara yang memiliki kepentingan terhadap isu laut untuk perubahan iklim maupun sebaliknya.

Beberapa pertemuan tersebut telah menghasilkan beberapa agenda ataupun kesepakatan yaitu :

1. *Oceans Action Day*

Oceans Action Day, pertama kali dilaksanakan pada UNFCCC COP 21 di Paris, pada tanggal 4 Desember 2015. *Oceans Day* yang pertama mempertemukan lebih dari 400 peserta termasuk kepala negara, menteri, pemimpin Organisasi Internasional dan LSM, dan para peneliti dunia, untuk menggarisbawahi pentingnya laut sebagai bagian penting dari kelangsungan hidup planet bumi dan kesejahteraan manusia di semua negara, terutama di 183 negara yang memiliki pesisir dan negara pulau. *The Oceans Day* pada COP 21 merupakan pertemuan untuk memberikan dukungan politik terhadap adopsi dari ambisi Perjanjian Paris dan, membentuk kerja yang dilakukan pada masa sebelum COP 21. *The Oceans Day* mendiskusikan agenda aksi untuk lima tahun ke depan terkait laut dan iklim, dengan fokus pada enam isu utama, yaitu: peran sentral lautan dalam mengatur iklim, mitigasi, adaptasi, pemindahan, pembiayaan, dan pengembangan kapasitas. *The Oceans Day* COP 21 diselenggarakan oleh 46 entitas dari pemerintah, lembaga internasional, LSM, akademisi dan lembaga ilmiah yang mewakili inisiatif strategis yang luas, dan aliansi kepentingan dan perspektif tentang laut dan iklim. Forum *Ocean Days* memutuskan untuk melakukan upaya bersama jangka panjang untuk memasukan agenda *Ocean and Climate* yang secara jelas dapat disampaikan untuk dipertimbangkan oleh Para Pihak di UNFCCC dan berbagai pemangku kepentingan.

Pada COP 22 UNFCCC di Marakesh, Maroko, *The Oceans Action Day* dilaksanakan dengan tujuan :

- a. Mendorong contoh adopsi dan implementasi Perjanjian Paris;
- b. Memberikan dukungan politik dan opsi kebijakan yang sesuai dalam pelaksanaan tindakan di samudra, laut, pesisir, dan *Small Island Development States* (SIDS) dalam konteks Perjanjian Paris dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama SDG 14;
- c. Mensinergikan pembahasan aspek lautan, pantai dan inisiatif iklim yang dihasilkan pada dan sesudah COP 21 dengan rencana aksi nasional, inisiatif dan komitmen, seperti *National Determined Contribution* (NDCs) dan SDG (seperti yang disebut dalam Peta Jalan untuk Aksi Iklim Global). NDC adalah suatu dokumen yang diserahkan kepada UNFCCC dari negara-negara yang meratifikasi Perjanjian Paris dan berisi target dan program komitmen penurunan gas rumah kaca;
- d. Menunjukkan dan mempromosikan dukungan keuangan dan pengembangan kapasitas untuk memenuhi target NDC, dengan penekanan khusus pada laut dan pesisir, dan keprihatinan dari SIDS dan Negara-negara Afrika;
- e. Mengembangkan langkah-langkah spesifik berikutnya untuk memajukan isu laut dan masalah iklim dalam proses UNFCCC pada fase berikutnya, sebagai bagian dari Peta Jalan (*road map*) untuk aksi iklim global, dan untuk menerapkan UN SDG 14.

Pada COP UNFCCC ke-23 di Bonn, Jerman, *Ocean Action Day* menghasilkan tujuan utama yang memungkinkan isu laut berkontribusi terhadap keberhasilan pelaksanaan Perjanjian Paris:

- Tindakan konkret dan komitmen dengan perhatian khusus pada negara-negara SIDS;
- Potensi memasukkan isu laut dalam NDC, proses implementasi dan revisinya (jika ada); dan
- Persyaratan khusus untuk pengembangan kapasitas.

Ocean Actions Day pada COP 24 UNFCCC di Katowice, Poland, melaporkan perkembangan untuk area tematik Zona Laut dan Pesisir pada tahun 2018, seperti *the IPCC Reports on 1.5° C and on Oceans and Cryosphere*; akan memberikan gambaran tentang pengembangan *Friends of the Ocean* di UNFCCC di antara negara-negara pihak; dan akan menunjukkan inisiatif untuk mengatasi samudra dan hubungan iklim di tingkat global, regional, nasional, dan sub-nasional.



Gambar 118. (dari kiri – kanan) Helen Ågren, Duta Besar Untuk Kelautan dan Swedia; Patricia Fuller, Duta Besar untuk Perubahan Iklim dari Canada; Susi Pudjiastuti, Menteri Kelautan dan Perikanan Indonesia (periode 2014-2019); Julia Feeney, mewakili Patrick Suckling, Duta Besar untuk Lingkungan Hidup dari Australia pada Ocean Action Day COP-24, 2018 (Photo credit : <https://enb.iisd.org/climate/cop24/oceans-action-day>)



Gambar 119. Grup foto Pembicara, Panelis dan Peserta pada Ocean Action Day COP-24, 2018 (Photo credit: <https://enb.iisd.org/climate/cop24/oceans-action-day/>)

2. *Because of the Ocean declaration*

Because the Ocean declaration diinisiasi oleh enam organisasi yaitu Menteri Luar Negeri Cili, Kementerian Ekologi Perancis, *Sustainable Development and Energy*, Pangeran Albert II dari Monaco Foundation, *the high-level Global Ocean Commission*, *the policy research Institute for Sustainable Development and International Relations (IDRR)*, dan *the French ocean advocacy organisation Tara Expeditions*. Deklarasi ini diharapkan dapat memberikan petunjuk dan solusi ke depannya terhadap 3 (tiga) aksi terkait dengan laut yang telah diluncurkan sejak tahun 2015 yakni untuk mendukung elaborasi *IPCC Special Report On the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)*, mempromosikan adanya *High Level UN Conference on Oceans and Seas* dan menyusun *Ocean action plan UNFCCC*.

3. *Ocean Pathway*

Ocean Pathway diluncurkan pada COP-23 di Bonn, Jerman dengan strategi dua jalur pada tahun 2020 yang mendukung tujuan Perjanjian Paris mencakup : 1. Meningkatkan peran laut dalam proses UNFCCC dan; 2. Meningkatkan aksi secara signifikan di bidang-bidang prioritas yang berdampak pada laut akibat perubahan iklim.

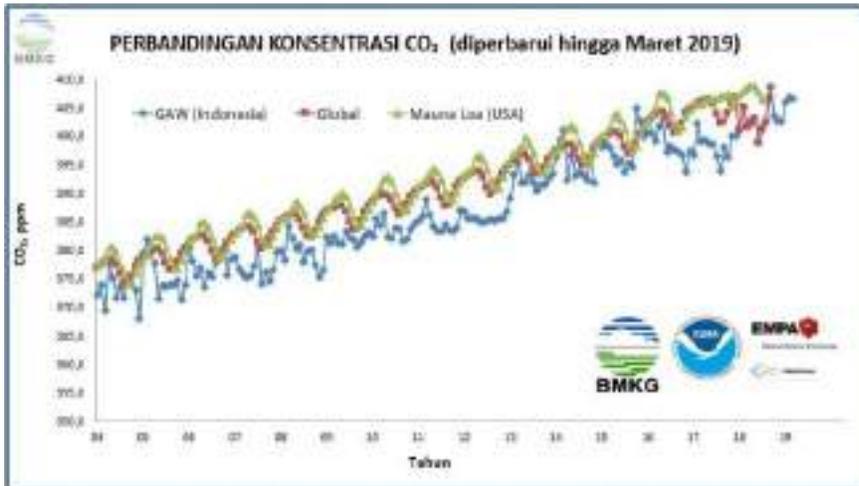
4. *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)*.

Saat ini IPCC sedang menyiapkan dokumen khusus yang akan membahas hasil-hasil penelitian tentang fenomena perubahan iklim baik yang disebabkan oleh laut dan juga dampak apa yang disebabkan oleh perubahan iklim terhadap laut. SROCC pertama kali disepakati oleh panel IPCC pada konvensi yang ke-43 tahun 2016 di Nairobi, Kenya, Afrika yang kemudian dilanjutkan pembahasan draf *outline* pada bulan Desember 2016 di Monaco. SROCC saat ini sudah pada tahap finalisasi dokumen dan telah dipublikasikan pada bulan September 2019.

8.2.2 Kebijakan Nasional

Keterlibatan Indonesia dalam isu perubahan iklim di tingkat internasional secara resmi dimulai dengan meratifikasi Deklarasi UNFCCC melalui UU No.6 tahun 1994 dan Kyoto Protokol pada UU No. 17 tahun 2004. Setelah meratifikasi kedua perjanjian internasional ini, maka Indonesia mengalami perkembangan kebijakan perubahan iklim sampai sekarang. Perkembangan tersebut antara lain adalah ditetapkannya Rencana Aksi Nasional – Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) oleh Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Bappenas (KPPN/Bappenas) tahun 2007. Selain itu di tahun yang sama, Indonesia menjadi tuan rumah COP 13. Selain itu melalui Perpres no. 46 tahun 2008, dibentuk Dewan Nasional Perubahan Iklim (DNPI).

Pada tahun 2009 di G20 Summit dan COP 15 Copenhagen - Denmark, Presiden RI berkomitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 26 persen dengan usaha sendiri atau 41 persen dengan bantuan internasional pada tahun 2020. Penurunan emisi ini akan dicapai dari 5 sektor yaitu pertanian, kehutanan dan lahan gambut, energi dan transportasi, industri dan pengolahan limbah. Komitmen Indonesia ini didasari juga oleh kondisi kenaikan nilai CO_2 berdasarkan hasil pengukuran nilai p_{CO_2} atmosfer (tekanan parsial CO_2) di stasiun Koto Tabang, Sumatra Barat sejak bulan Januari 2004 hingga Februari 2011 (Gambar 119). Gambar 119 memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan p_{CO_2} atmosfer perbulan sebesar 0,1375 μatm atau sebesar 1,65 $\mu\text{atm}/\text{tahun}$. Besarnya peningkatan nilai p_{CO_2} atmosfer ini lebih besar dari estimasi yang dilakukan IPCC, 2005 yang hanya sebesar 1,2 $\mu\text{atm}/\text{tahun}$.



Gambar 120. Perbandingan Konsentrasi CO₂ atmosfer hasil pengukuran Stasiun Global Atmosphere Watch (GAW) Koto Tabang – Padang, Global dan stasiun GAW Mauna Loa, Amerika (Sumber : BMKG)

Pada tahun 2011 terbit dua buah Peraturan Presiden (Perpres) yaitu Perpres No. 61 tentang Rencana Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dan Perpres No. 71 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Prinsip dasar RAN-GRK adalah tidak menghambat pertumbuhan ekonomi, meningkatkan kesejahteraan rakyat dan memberikakan perlindungan bagi masyarakat miskin dan rentan terhadap perubahan iklim. Pada tahun 2013 dikeluarkan Perpres Nomor 62 tentang Badan Pengelola Penurunan Emisi Rumah Kaca dari Deforestasi, Degradasi Hutan dan Lahan Gambut (Badan Pengelola REDD+).

Komitmen penurunan GRK Indonesia kemudian diperbaharui pada COP ke 21 di Paris tahun 2015 yang menghasilkan *Paris Agreement* dan konsep *Nationally Determined Contribution* (NDC). Di dalam NDC Indonesia menargetkan penurunan GRK di bawah skenario *business as usual* (BAU) sebesar 29 persen dengan usaha sendiri atau 41 persen dengan bantuan internasional pada tahun 2030.

Indonesia juga mengembangkan salah satu strategi mitigasi yang disebut NAMA (*Nationally Appropriate Mitigation Action*). Tahun 2013, Menteri PPN/Bappenas mengeluarkan keputusan menteri nomor 38 tahun 2012 tentang pembentukan tim koordinasi penanganan perubahan iklim atau *Climate Change National Coordination Team* (CCNCT). Tim koordinasi ini terdiri atas dua yaitu tim pengarah dan kelompok-kelompok kerja. Tim ini dibentuk untuk mengoptimalkan pelaksanaan RAN-GRK, mengkoordinasi pelaksanaan kegiatan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim serta meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam pencapaian target RAN-GRK. Tim ini juga bertindak sebagai “dapur” pengembangan NAMA dengan menyediakan dukungan teknis serta mengambil inisiatif bersama sektor terkait dalam mengembangkan NAMA tertentu. Secara kelembagaan, posisi tim yang lintas sektoral ini mendukung Kementerian Lingkungan Hidup

sebagai Komite Nasional MRV dan DNPI sebagai *focal point* nasional untuk UNFCCC pada saat itu. Proposal NAMA yang sudah dikaji dan disetujui di Bappenas selanjutnya divalidasi oleh DNPI sebelum diajukan ke UNFCCC. Sementara itu, bahan pembuatan NAMA menjadi salah satu sumber pembuatan *Biennial Update Report* (BUR) dan *National Communication* yang dikoordinasi oleh Kementerian Lingkungan Hidup.

Pada peraturan-peraturan terkait dengan organisasi, tugas dan fungsi seluruh kementerian masa bakti 2014-2019, fungsi mitigasi adaptasi perubahan iklim menjadi tanggung-jawab Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) sebagai tugas dan fungsi dari Direktorat Jendral Pengendalian Perubahan Iklim (PPI). Dalam rencana strategis Ditjen PPI (PPI, 2005), disebutkan bahwa tugas dan fungsi yang dijalankan oleh Ditjen PPI ini juga merupakan muara dari dua tugas utama yang sebelumnya dijalankan oleh DNPI dan BP REDD+. Dengan demikian sejak Perpres No. 16 tahun 2015 terbit maka KLHK secara otomatis menjadi *national focal point* UNFCCC. Hal yang menjadi kewajiban Indonesia kepada UNFCCC akan dikoordinasikan, dirangkum, divalidasi dan dilaporkan oleh KHLK, seperti *Biennial Update Report* (BUR), *National Determined Contribution* (NDC), *National communication*.

Direktorat Jenderal Perubahan Iklim, KLHK menerapkan sistem *One Data Policy* terkait dengan emisi GRK yang disebut dengan SIGN SMART (Sistem Inventarisasi GRK Nasional- Sederhana, Mudah, Akurat, Ringkas, Transparan). Dalam SIGN SMART, terdapat 5 model data emisi yaitu energi, industri, pertanian, penggunaan lahan – perubahan penggunaan lahan dan kehutanan serta limbah. Penggunaan kebijakan data satu pintu ini untuk mendorong adanya transparansi, akurasi, kelengkapan, komparasi dan konsistensi (<http://signsmart.menlhk.go.id/home/>). Pada sektor AFOLU, Balitbang Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mengembangkan *Indonesia National Carbon Accounting System* (INCAS). INCAS adalah sistem perhitungan karbon nasional Indonesia untuk menghitung, melaporkan dan memverifikasi total emisi dan serapan karbon yang berasal dari sektor kehutanan dan pertanian atau sektor AFOLU (*agriculture, forestry and other land use*).

Semua kebijakan perubahan iklim bersifat lintas sektoral dengan tiga sektor utama yang menjadi perhatian yaitu sektor berbasis lahan (*land-based sector*) yaitu pertanian dan kehutanan, sektor energi terpadu (*integrated energy sector*) yaitu energi, industri dan transportasi serta sektor manajemen limbah. Sektor kelautan masih menjadi sektor pendukung dalam RAN-GRK (Perpres No.61/2011). Pada *Second National Communication to UNFCCC*, sektor kelautan diidentifikasi masih sebagai sektor yang terdampak akibat perubahan iklim.

Meskipun salah satu prinsip dasar yang tertuang dalam RAN-GRK adalah tidak menghambat pertumbuhan ekonomi dan mengentaskan kemiskinan (tetap memprioritaskan kesejahteraan rakyat), namun dalam

pelaksanaanya RAN GRK masih berfokus pada penurunan emisi, dan belum secara eksplisit memperhitungkan pertumbuhan ekonomi, pemanfaatan sumber daya alam yang lestari dan keterkaitan antar sektor dalam RAN-GRK. Selain itu, penurunan emisi GRK melalui sektor kehutanan dan lahan gambut tidak banyak membahas mengenai kontribusi yang dapat disumbangkan oleh ekosistem pesisir seperti tanaman bakau (*mangrove*) dan lamun (*seagrass*) atau penurunan emisi dari aktivitas akuakultur dan perikanan tangkap. Sebagian besar pengurangan emisi GRK menekankan pada penyerapan emisi GRK melalui ekosistem darat seperti rehabilitasi hutan lindung dan lahan gambut, penanaman atau pembuatan hutan produksi.

Saat ini terdapat upaya dari Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) untuk meningkatkan Rencana Aksi Nasional Pengurangan Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) menjadi Perencanaan Pembangunan Rendah Karbon (PPRK) yang mencakup penurunan emisi dan sekaligus juga memperhitungkan pertumbuhan ekonomi dan kelestarian pemanfaatan sumber daya alam (Gambar 121). PPRK juga memperhitungkan keterkaitan dari sektor-sektor yang ada, sehingga interdependensi antar sektor akan mempengaruhi status emisi sektor-sektor tersebut.

Sektor kelautan dan perikanan berpotensi menjadi sektor tambahan pada PPRK selain 5 sektor GRK yang telah ada, yang mana di dalam proses pembahasan PPRK sekarang masih disebut sebagai sektor *blue carbon*. Masuknya sektor kelautan dan perikanan ke dalam PPRK akan menjadi pendukung pembangunan sektor kelautan dan perikanan yang berkelanjutan dengan adanya pembangunan yang '*rendah karbon*'. Aspek yang berpotensi masuk dalam sektor kelautan dan perikanan dalam kaitannya dengan PPRK ada 3 aspek, yaitu : *Blue carbon*, akuakultur, dan perikanan tangkap. *Blue carbon* berkaitan dengan kemampuan mangrove dan lamun untuk menyerap karbon (Nelleman *et al.*, 2009). Ketiga aspek ini berpotensi sebagai kontribusi sektor kelautan dan perikanan untuk mendukung kebijakan perubahan iklim nasional karena tiga faktor utama yang menjadi prinsip PPRK: pertama karena ketiga aspek tersebut akan menimbulkan emisi GRK jika tidak dikelola dengan



Gambar 121. Konsep Pembangunan Rendah Karbon (PRK) dan keterkaitannya dengan *Sustainable Development Goal* (SDGs) 13, yaitu Perubahan Iklim yang juga mendukung goal 7,8,9 dan 17 (pilar ekonomi); goal 1,2 dan 4 (pilar sosial) dan goal 6,11,12,14 dan 15 (pilar lingkungan). (Photo credit: Bappenas, 2018)

baik, kedua ketiga aspek tersebut berdampak pada ekonomi masyarakat pesisir dan terakhir ketiga aspek tersebut juga berpengaruh kepada kelestarian pemanfaatan sumber daya pesisir dan laut.

Penelitian mengenai *Blue carbon* telah dilakukan oleh Pusat Riset Kelautan (Pusriskel), Kementerian Kelautan dan Perikanan sejak tahun 2011. Penelitian dilakukan antara lain untuk mengetahui stok karbon pada lamun dan mangrove di 16 lokasi (e.g. Rustam, 2013; Rustam *et al.*, 2014; Kepel *et al.*, 2018). Kegiatan *Blue carbon* di lingkup Pusriskel dan Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI juga telah dikompilasi sehingga dapat mencakup skala nasional dan dapat digunakan untuk mengestimasi simpanan dan serapan karbon pada lamun dan mangrove di Indonesia (Wahyudi *et al.*, 2018). Studi mengenai jejak karbon perikanan (*fisheries carbon footprint*) juga telah dilakukan oleh Pusat Riset Perikanan, KKP yang berfokus pada emisi CO₂ yang dihasilkan dalam kegiatan perikanan Tuna-Cakalang-Tongkol (TCT). Sebagai contoh, Suryanto *et al.*, (2016) (a) berdasarkan data statistik armada perikanan 2011 dengan menggunakan metodologi *expert judgement* mendapatkan total konsumsi bahan bakar mesin induk armada perikanan Nasional adalah 2,1 liter solar atau setara 71,46 juta ton CO₂ eq. Suryanto *et al.*, (2016) (b) dalam menghadapi *trade barrier* produk perikanan melakukan studi besaran *fuel used intensity* (FUI) armada TCT, khususnya yang menggunakan alat tangkap *handline* dan *pole and line* di Indonesia Timur. Tanpa memperhatikan tren perubahan *fishing effort*, hasil penelitian tersebut dapat digunakan sebagai dasar estimasi GRK armada *handline* dan *pole and line* Nasional. Namun Suryanto dan Wudianto (2017) mendapatkan korelasi antara jejak karbon armada TCT di Indonesia timur terhadap faktor teknis dan operasional armada tersebut. Aspek penting lain yang sedang diteliti dan akan menjadi salah satu fokus lanjutan penelitian ini adalah penghitungan *baseline* (BAU) untuk aspek *Blue carbon* (Adi *et al.*, 2019). Untuk menjadi sektor formal di dalam kebijakan perubahan iklim nasional, 'sektor kelautan dan perikanan' dan ketiga aspek di dalamnya perlu mendapatkan justifikasi ilmiah, utamanya dalam hal penghitungan emisi, *baseline* dan perumusan kebijakannya.

8.3 Mitigasi Perubahan Iklim

Mitigasi perubahan iklim didefinisikan sebagai upaya yang dilakukan manusia untuk mengurangi sumber atau meningkatkan penenggelaman (*sink*) dari gas rumah kaca (GRK). Agar upaya mitigasi dapat terukur dan konsisten maka pelaksanaannya dipandu dan didorong oleh kebijakan baik yang bersifat global, regional maupun nasional.

8.3.1 Mitigasi Berbasis Teknologi

Teknologi atau rekayasa mitigasi perubahan iklim sudah banyak diterapkan pada berbagai sektor seperti industri, pemukiman, lahan (pertanian) dan transportasi. Menurut Wang *et al.*, (2018), teknologi mitigasi industri dapat

dibagi ke dalam lima kategori yaitu desain hijau, eco-efisiensi, energi rendah karbon, kontrol polusi, dan sistem manajemen. Selain konsep-konsep ini, upaya menurunkan konsentrasi CO₂ di atmosfer lewat rekayasa teknologi juga dilakukan dengan penenggelaman karbon (*carbon sequestration*) melalui injeksi langsung ke laut dalam.

Teknologi Desain Hijau

Teknologi desain hijau (*green design technology*) dan teknologi eco-efisiensi bertujuan untuk mengurangi jejak karbon (*carbon footprint*) baik melalui perubahan material produk maupun rekayasa proses pembuatan produk. Cara yang pertama adalah meminimalisasi penggunaan bahan berkarbon sedangkan yang kedua menekan produksi karbon dari proses produksi dengan cara mengurangi pemakaian sumber energi terutama tanpa menurunkan kualitas produksi.

Penerapan desain hijau terlihat pada penggunaan *carbon sink-low carbon* dan *eco-friendly material* pada bahan bangunan (Cam, 2012). Salah satu contoh *carbon sink material* adalah bambu. Industri produk berbahan baku bambu berdasarkan analisis siklus hidup – LCA (*Life Cycle Analysis*) dinilai sebagai kegiatan yang menghasilkan emisi sangat rendah (Van der Lugt *et al.*, 2015). Selain bambu yang merupakan salah satu *carbon sink material*, juga telah dikembangkan beberapa material *low carbon* seperti bata yang terbuat dari *fly ash* atau bubuk halus silika, besi dan alumina yang merupakan produk samping dari pembakaran batubara untuk pembangkit listrik (Cam, 2012).

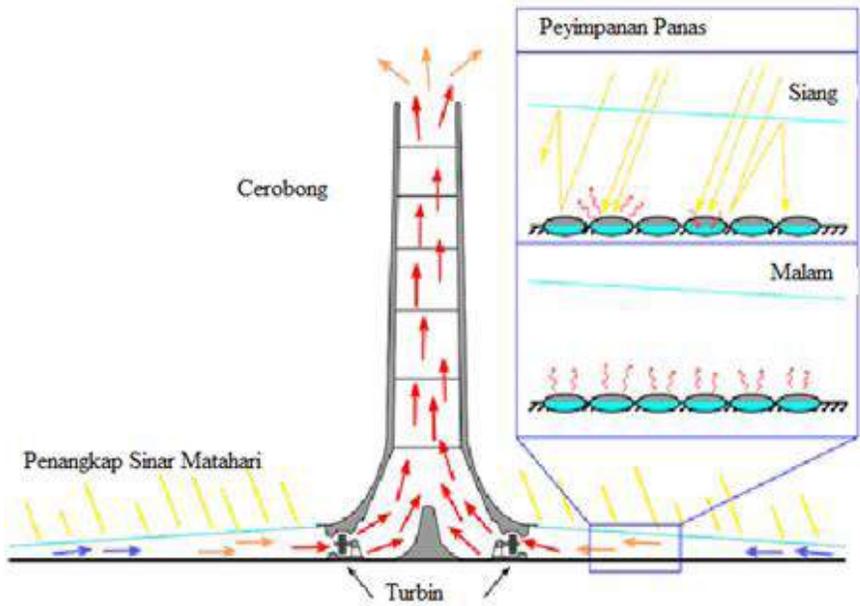
Energi Rendah Karbon

Secara umum, penerapan energi rendah karbon adalah dengan mengganti sumber energi dari bahan bakar fosil ke sumber energi berkelanjutan seperti sinar matahari, angin, bahan bakar nabati dan gelombang/ arus laut atau sumber energi yang menghasilkan emisi yang rendah. Berikut beberapa opsi teknologi di antaranya.

a) Energi Matahari

Pemanenan energi dari matahari dilakukan dengan menggunakan prinsip *Photovoltaic* (PV) dan sistem pengumpulan panas matahari (*Solar thermal*) (Kommalapati *et al.*, 2017; Amponsah *et al.*, 2014). Prinsip PV adalah mengkonversi langsung sinar matahari langsung menjadi listrik saat mengenai material semikonduktor (biasa disebut *solar cell*), sedangkan sistem *solar thermal* memanfaatkan sinar matahari menjadi panas yang ditransfer menjadi energi kinetik dan listrik. Contoh aplikasi teknologi *solar thermal* adalah pemanfaatan tambak garam sebagai *solar pond / solar-salt pond* dan cerobong surya (*solar chimney*). Cerobong surya mengkombinasikan teknologi pengumpul cahaya matahari, cerobong, dan turbin (Guo *et al.*, 2014).

Gambar 122.
Gambaran skematik cerobong surya (*solar chimney*) (Photo credit: Guo *et al.*, 2014)



Pemanfaatan energi matahari juga telah diaplikasikan di sektor kelautan dan perikanan.

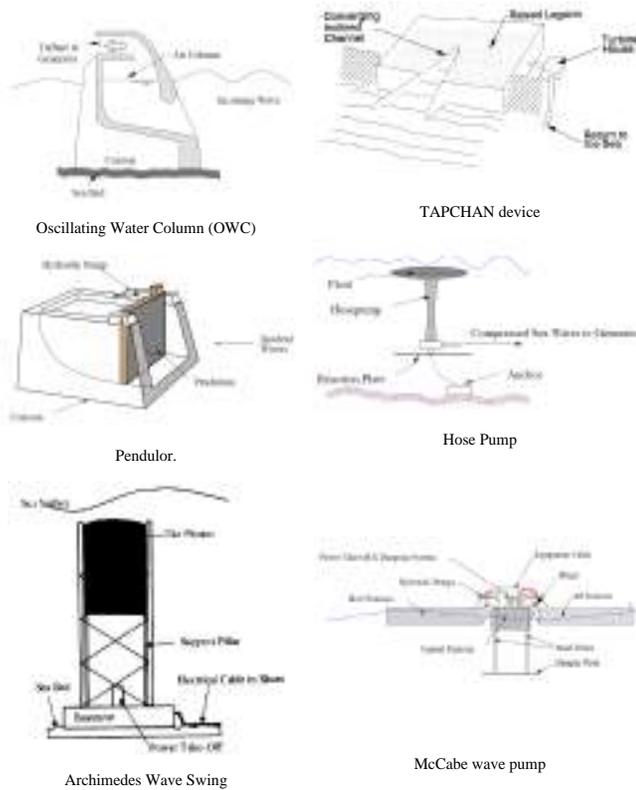
Angin dan Hydropower

b) Energi Laut

Teknologi energi dari laut mencakup konversi energi gelombang dan pasang surut. Wahana konversi energi gelombang (*wave energy converter*) yang pertama kali dikomersialisasikan adalah “Pelamis” yang dibangun oleh Edinburgh-based Ocean Power Delivery Ltd (OPD) (Parker *et al.*, 2007). Berdasarkan hasil perhitungan LCA, emisi CO₂ pada teknologi konversi gelombang ini maksimum mencapai 50 gCO₂-eq/kWhe (Amponsah *et al.*, 2014). Selain Pelamis, terdapat juga beberapa jenis alat konversi gelombang yang telah diaplikasikan di beberapa negara (Gambar 123). Oscillating Water Column (OWC) telah diuji coba di Norway, Jepang, Italia dan India. Tapchan dengan luaran listrik sebesar 350kW dioperasikan di Norway pada tahun 1985-pertengahan 1990-an.

Gambar 123.
Pelamis, wahana konversi energi gelombang (Photo credit : <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>)





Gambar 124. Beberapa instrumen konversi gelombang laut sebagai alternatif pembangkit energi dari bahan bakar fosil (Photo credit: Lewis et al., 2011)

Operasionalisasi pembangkit listrik tenaga pasang surut sudah dilakukan di beberapa negara seperti La Rance – Perancis (240 mW), Kislaya Guba – Rusia (0,4 MW), Jingxia – China (3,2 MW) dan Annapolis Royal – Kanada (17,8 MW).

Injeksi Karbon

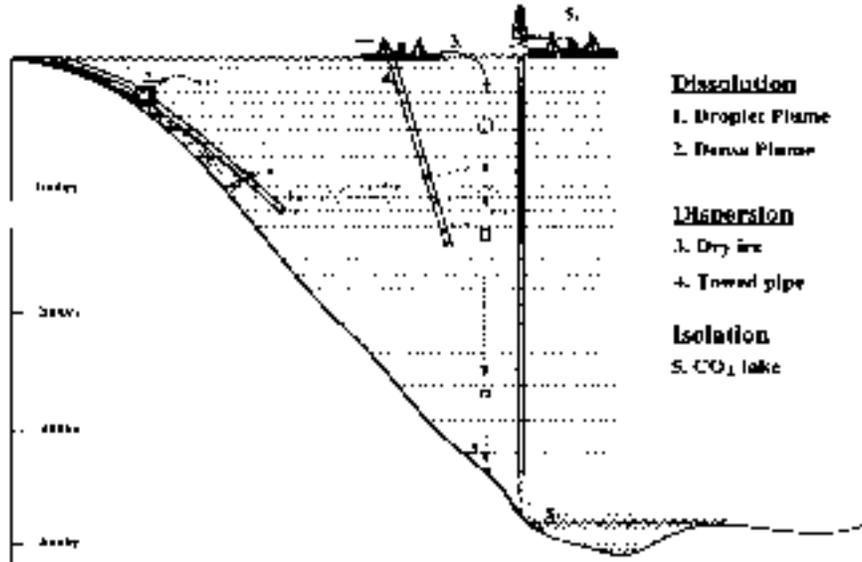
Injeksi karbon di laut didasari oleh peranan laut sebagai *reservoir* yang memiliki kemampuan penyimpanan karbon yang besar selain daratan dan atmosfer. Beberapa strategi injeksi adalah melalui *droplet plume*, *dense plume*, *dry ice*, *towed pipe*, dan kolam CO₂ (Gambar 125).

8.3.2 Mitigasi Berbasis Ekosistem

Perubahan Iklim dan Siklus Karbon

Terdapat tujuh sistem di bumi yang saling terkait satu dengan lainnya, yaitu atmosfer, hidrofer, pedosfer, litosfer, biosfer, cryosfer, dan antroposfer. Keterkaitan setiap sistem ini ditandai dengan adanya aliran atau pertukaran energi, momentum, dan materi. Salah satu proses pertukaran yang berkaitan dengan perubahan iklim adalah siklus karbon.

Gambar 125. Lima pilihan metode injeksi CO₂ ke dasar laut. Pertimbangan dalam memilih metode adalah untuk meminimalkan biaya, kebocoran dan dampak lingkungan (*Photo credit: Herzog, et al, 2001*)

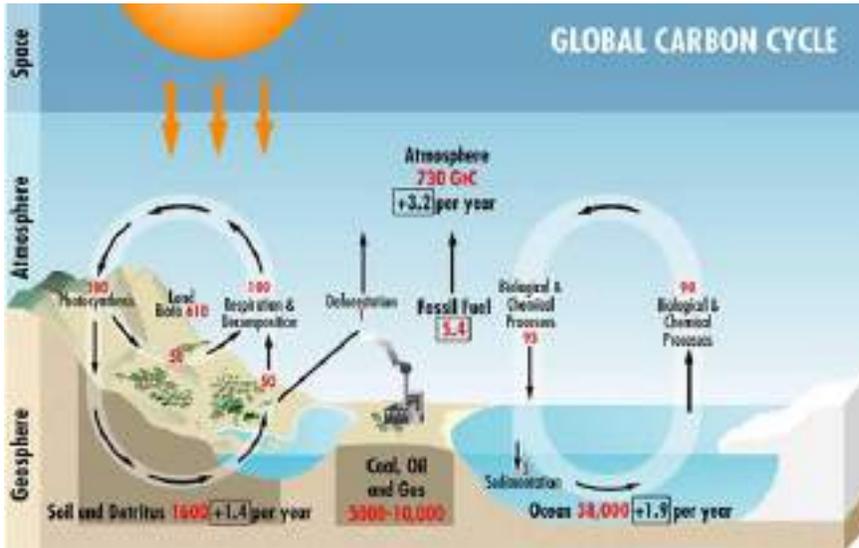


Karbon dalam bentuk CO₂ adalah salah satu GRK penyebab utama pemanasan global yang mengakibatkan dampak perubahan iklim yang telah terjadi di berbagai belahan dunia. Dampak muncul dalam bentuk bencana kekeringan dan kebakaran hutan, naiknya muka air laut dan meningkatnya intensitas dan periode hujan yang berakibat banjir. Bumi sebenarnya telah dilengkapi dengan penyerap CO₂ alami yaitu atmosfer, daratan, dan lautan.

Secara alamiah produksi CO₂ berasal dari hasil respirasi makhluk hidup, penguraian bahan organik, erupsi gunung berapi dan pelepasan dari laut. Sumber lain CO₂ adalah hasil kegiatan antropogenik yang antara lain berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Sekitar 45 persen CO₂ yang terlepas di atmosfer tetap tinggal di atmosfer, 25 persen lainnya turun dan terdisposisi di tanah sedangkan sisanya sebesar 30 persen diabsorpsi di laut. Karbon yang ada di atmosfer dapat dikonversi menjadi biomass tumbuhan melalui proses fotosintesis. Karbon yang tersimpan sebagai biomas makhluk hidup ini akan selanjutnya mengalami dua proses saat mati.

Pertama proses penguraian sehingga karbon akan terlepas kembali ke atmosfer atau proses yang kedua di mana karbon akan terkubur/tersimpan di dalam tanah/sedimen. Namun penebangan hutan yang marak mengakibatkan stok karbon yang tersimpan di dalam vegetasi menjadi terlepas ke atmosfer dan menurunkan kemampuan alami daratan dalam menyerap CO₂ sehingga perhatian mulai ditujukan ke laut.

Karbon yang masuk ke laut melalui beberapa cara yaitu transfer karbon di darat lewat limpasan air, aliran sungai ataupun air hujan. Selanjutnya masuknya karbon di atmosfer secara langsung ke laut karena perbedaan tekanan parsial antara atmosfer dan permukaan laut yang sangat tergantung pada sifat fisik-kimia dan komponen biologi laut.



Gambar 126. Siklus karbon global dalam unit gigaton karbon (GtC). Laju akumulasi dan fluks ditampilkan dalam unit GtC / tahun. Sumber : <http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/9.shtml>

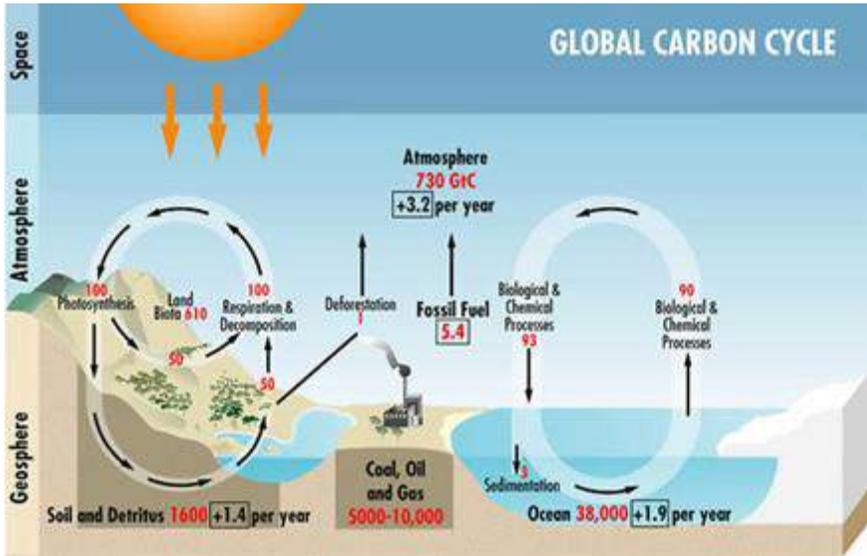
Karbon Laut (*Ocean Carbon*)

Laut adalah penyerap CO_2 alami (*natural CO_2 sink*) terbesar di Bumi (Raven dan Falkowski, 1999), di mana CO_2 dapat larut di dalam air atau dimanfaatkan oleh fitoplankton menjadi biomassa melalui proses fotosintesa. Siklus karbon global yang kontinyu menjaga keseimbangan CO_2 di lautan dan CO_2 di atmosfer. Namun angka penyerapan CO_2 oleh laut masih bervariasi dan menjadi penelitian intensif. Sabine *et al.*, (2004) menyatakan kemampuan laut hingga 48 persen dalam menyerap CO_2 . Penelitian lain menyebutkan dari total 4 – 5 Pg C emisi tiap tahun ke atmosfer, sekitar 2 Pg C diserap laut, yang \pm setara dengan 50 persen-nya (Cai *et al.*, 2006). Hasil lain menyebutkan sekitar 90 Gigaton (Gt) karbon / tahun dilepaskan dari permukaan lautan di seluruh dunia, sementara penyerapan tahunan oleh lautan sebesar 92 Gt, sehingga terdapat penyerapan bersih CO_2 oleh laut sekitar 2 Gt per tahunnya (Fletcher *et al.*, 2006).

Konsentrasi CO_2 yang terlarut di laut sangat tergantung pada kondisi fisik-kimia (temperatur, salinitas, cahaya) serta proses biologi. Aliran CO_2 di laut – atmosfer adalah fungsi dari kelarutan CO_2 di air laut (pompa kelarutan / *solubility pump*), kemampuan fitoplankton, alga dan lamun untuk berfotosintesis (pompa biologis karbon organik) serta aktifitas hewan bercangkang dan karang saat menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3) (Pompa biologi CaCO_3) (Gambar 127). Ketiga mekanisme ini saling berhubungan, seimbang dan berpengaruh pada kapasitas laut sebagai penyerap karbon.

Pompa kelarutan sangat tergantung pada kondisi fisik dan kimia air terutama temperatur dan salinitas. Penyerapan CO_2 dari atmosfer akan relatif lebih cepat pada kondisi air laut yang dingin dan salinitas lebih rendah. Suhu

Gambar 127.
Siklus karbon
global (Photo
credit: www.
wrsc.org)



rendah meningkatkan kelarutan CO_2 dan menurunkan pCO_2 perairan sehingga terjadi aliran penyerapan CO_2 dari atmosfer ke laut. Suhu homogen (tidak terstratifikasi secara vertikal) mengakibatkan CO_2 di permukaan dapat ditransfer dan tersimpan ke dasar laut. Perubahan fisik di laut juga mengubah input vertikal nutrient anorganik dan ketersediaan cahaya (terjadinya stratifikasi). Hal ini mempengaruhi produksi primer dan struktur ekosistem serta mengubah pompa biologi CO_2 terutama pada pompa karbon organik. Proses fotosintesis akan menurunkan konsentrasi CO_2 di air laut namun proses respirasi dan remineralisasi menyebabkan terlepasnya CO_2 kembali. Pada pompa biologi CaCO_3 terjadi proses kalsifikasi atau pembentukan cangkang dan terumbu pada biota karang yang menyebabkan terlepasnya CO_2 . Namun demikian, produksi CO_2 dari kalsifikasi ini dapat digunakan oleh produser dalam fotosintesis.

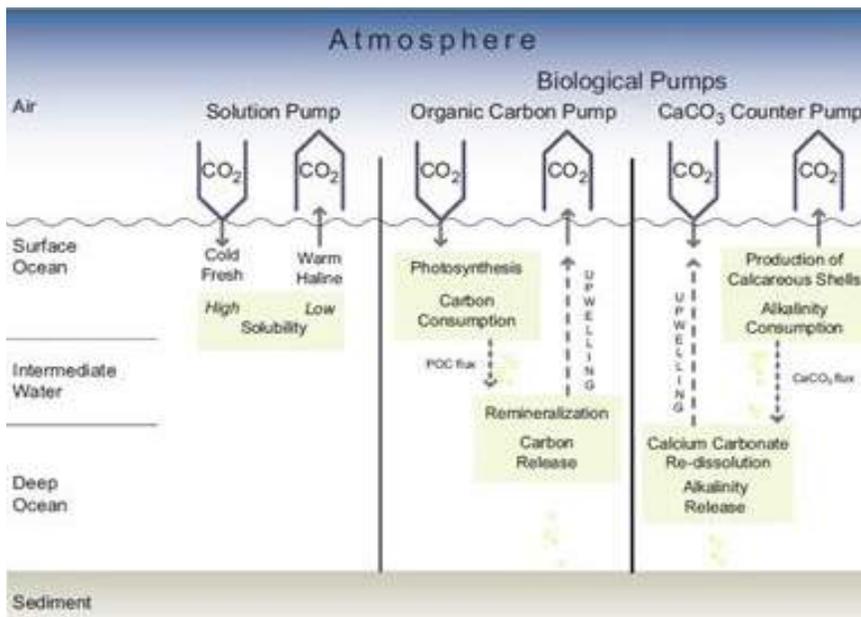
Penelitian mengenai peran laut sebagai penyerap CO_2 umumnya dilakukan di perairan laut lepas di wilayah lintang tinggi karena faktor volume air yang besar, suhu rendah, tidak adanya stratifikasi termoklin dan aktivitas biologi yang tinggi untuk kepentingan penyerapan dan penyimpanan alami CO_2 . Laut yang berperan sebagai *oceanic sink* terbesar untuk CO_2 adalah laut Selatan (*Southern Ocean*) (Moore *et al.*, 2000) dan laut Atlantik (Chierici *et al.*, 2009).

Perairan pesisir juga berperan penting terhadap total *budget* karbon global karena menerima aliran karbon dan nutrien dari darat dan ekosistem lahan basah walaupun total luasannya lebih kecil dibandingkan laut lepas. Kemampuan ini didukung dengan adanya transpor materi dan energi dengan laut lepas melalui lereng benua (*continental slope*) yang menjadikannya salah satu wilayah yang proses biogeokimianya paling aktif. Milliman and Syvitski

(1992) menyebutkan bahwa sebanyak $0,25 - 0,4 \times 10^5$ g karbon organik terlarut dilepaskan ke laut dari sungai ke perairan pesisir setiap tahunnya. Pertukaran CO_2 antara atmosfer dan perairan pesisir juga terjadi cukup intensif dan mempengaruhi *fluks* CO_2 pada skala regional maupun global (Borges *et al.*, 2005).

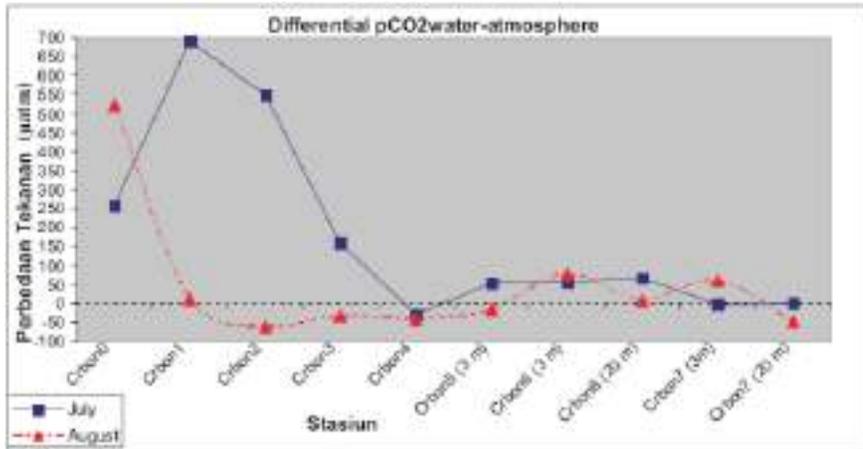
Perairan Indonesia seluas 17 persen dari total wilayah laut dunia juga berpotensi menyerap CO_2 karena mempunyai produktivitas primer tinggi (Behrenfeld *et al.*, 2005), wilayah *upwelling* yang luas (Kunarso *et al.*, 2009; Lefevre *et al.*, 2002) dan *continental shelf* (Tsunogai *et al.*, 1999). Selain faktor-faktor tersebut, tingginya curah hujan juga akan membawa fluks sedimen sumber materi karbonat ke perairan pesisir melalui sungai-sungai. Berdasarkan hasil penelitian, Laut Jawa berperan menjadi sumber CO_2 ke atmosfer sementara perairan Teluk Banten dapat berperan sebagai pelepas maupun penyerap pada musim yang berbeda (Rustam *et al.*, 2013).

Penelitian mengenai karbon laut telah dilakukan oleh Pusat Riset Kelautan, BRSDM KP di Teluk Banten pada tahun 2008-2009. Perbandingan nilai pCO_2 perairan dengan nilai pCO_2 atmosfer dari IPCC, yaitu 385 μatm menunjukkan bahwa pada bulan Juli dan Agustus perairan sungai berperan sebagai pelepas CO_2 ke atmosfer, sedangkan perairan bersalinitas tinggi berperan sebagai sink maupun source bagi CO_2 atmosfer. Hasil analisa statistik regresi linear antara pCO_2 dengan 5 parameter CO_2 (DIC, pH, Alk, suhu, klorofil) dan dengan parameter suhu, klorofil dan DO menunjukkan bahwa pada pada bulan Juli pCO_2 di wilayah studi dipengaruhi oleh suhu, sedangkan pada bulan Agustus pCO_2 utamanya dipengaruhi oleh klorofil dengan pengaruh tambahan dari suhu (Adi dan Rustam, 2009).



Gambar 128. Tiga pompa karbon laut utama mengatur regulasi perubahan CO_2 atmosferik alami oleh laut : pompa kelarutan, pompa karbon organik dan pompa kesetimbangan CaCO_3 (Photo credit : IPCC, 2007).

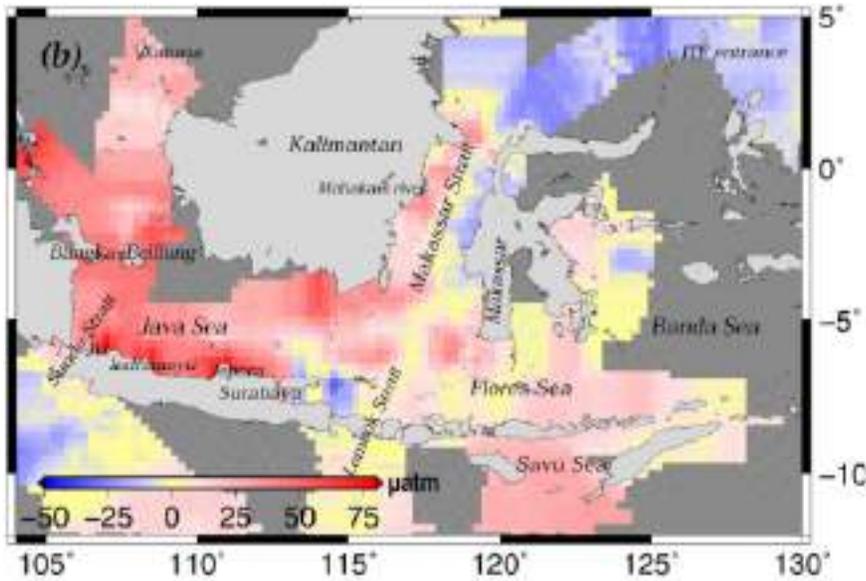
Gambar 129. Delta $p\text{CO}_2$ (tekanan parsial CO_2) antara atmosfer dan perairan di bulan Juli dan Agustus 2009. Lintasan dari kiri ke kanan pada sumbu x mewakili lokasi dari sungai hingga laut lepas. Nilai $p\text{CO}_2$ di atas 0 cenderung terjadi pelepasan CO_2 dari perairan ke atmosfer dan nilai negatif terjadi penyerapan karbon dari atmosfer ke perairan. Secara umum wilayah sungai cenderung berperan sebagai pelepas CO_2 kuat dibandingkan perairan laut (Photo credit: Adi dan Rustam, 2009).



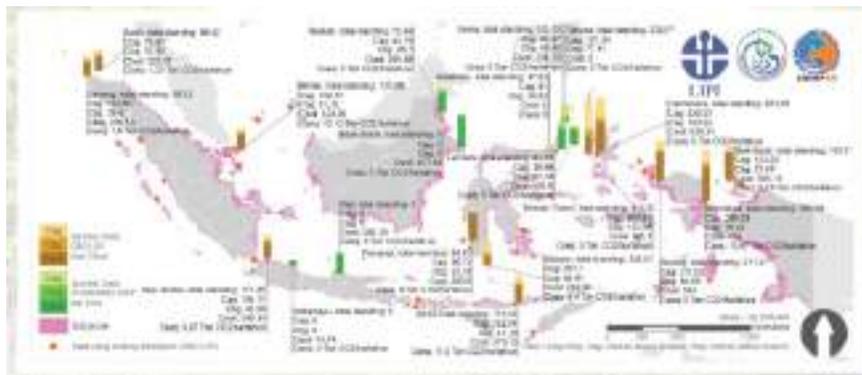
Penelitian di Teluk Banten tersebut kemudian ditingkatkan dari segi cakupan wilayahnya dan pelaksanaannya dengan mencakup wilayah perairan Indonesia dan bekerjasama dengan pihak Jepang pada kurun waktu 2012-2013. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar perairan Indonesia berperan sebagai pelepas CO_2 ke atmosfer, terutama laut Jawa. Wilayah *carbon sink* hanya ada pada sebagian kecil Selat Makassar dan Selat Madura (Gambar. 130)

Karbon Biru (*Blue Carbon*)

Beberapa ekosistem pesisir mempunyai kemampuan alami untuk menyimpan karbon organik (sering disebut sebagai *blue carbon* atau karbon biru) pada tanah (sedimen), biomassa, serasah (*litter*) dan kayu mati (*deadwood*) (Nellemann *et al.*, 2009). Ekosistem yang dikategorikan sebagai ekosistem karbon biru adalah mangrove, lamun dan rawa asin (*salt marsh*), di mana untuk Indonesia yang merupakan wilayah tropis hanya ada dua, yaitu lamun dan mangrove. Berbeda dari ekosistem darat, ekosistem yang dikategorikan sebagai ekosistem karbon biru ini sangat efisien dalam menyimpan dan mengakumulasi karbon organik pada sedimen/tanah di mana ekosistem tersebut tumbuh. Tingginya tingkat produktivitas primer dan penjembaran sedimen oleh ekosistem ini menyebabkan akumulasi karbon yang kontinyu pada sedimen. Adanya genangan sesaat ataupun permanen akibat pasang surut menyebabkan kondisi anoksik (oksigen rendah) yang mencegah terlepasnya karbon organik melalui proses degradasi mikroba aerob. Akibatnya karbon organik dapat terakumulasi hingga berjuta tahun pada sedimen dan akan terus terakumulasi seiring naiknya muka laut jika sedimen pada ekosistem ini tidak terganggu. Simpanan karbon pada ekosistem lamun dan mangrove dapat mencapai lima kali dari besarnya simpanan sedimen di hutan tropis daratan (Alongi, 2014).



Gambar 130. Status perairan Indonesia sebagai penyerap / pelepas karbon. Skala warna ke arah merah menunjukkan sifat source dan makin ke arah biru menunjukkan sink. (Photo credit: Kartadikaria *et al*, 2015)



Gambar 131. Data stok karbon mangrove Indonesia (Sumber data: Pusat Riset Kelautan, KKP dan Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, yang dikompilasi dalam Wahyudi *et al*, 2018)

Penelitian karbon biru di Pusat Riset Kelautan, BRSDM KP, KKP telah dilakukan sejak tahun 2012. Hasil ini kemudian diintegrasikan dengan hasil riset karbon biru dari Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI pada tahun 2018 untuk mendapatkan data stok karbon nasional (Gambar 131 dan 132).

Hutan mangrove di Indonesia adalah yang terluas di dunia, yaitu mencapai 22,4 persen dari luasan mangrove dunia atau sekitar 3,22 juta hektar (Giri *et al.*, 2011; Ilman *et al.*, 2016). Luasan besar ini berpotensi menjadi *carbon sink* dari karbon di atmosfer, mengingat kemampuan menyimpan karbon dari hutan mangrove lebih besar dari hutan daratan. Simpanan karbon ini terdapat pada 5 *carbon pools* atau ‘kompartemen’, yaitu pada biomasa atas, biomasa bawah, sedimen, serasah dan pohon mati (Howard *et al.*, 2015).

Kompartemen simpanan karbon terbesar ada pada sedimen, yang mencakup hingga 75 persen dari total simpanan karbon di mangrove. Sebaran tertinggi luasan mangrove di Indonesia ditemukan di Kepulauan Papua, hampir setengah dari luasan mangrove nasional (Ilman *et al.*, 2016)

Secara keseluruhan, hutan mangrove di Indonesia rata-rata mampu menyerap 52,85 ton CO₂/ha/tahun yang lebih tinggi dua kali lipat dibandingkan estimasi global (26,42 ton CO₂/ha/tahun (Bouillon *et al.*, 2008). Hutan mangrove Indonesia memiliki potensi penyerapan karbon sebesar 170,18 Mt CO₂/tahun. Jika dihitung menurut pulau utama, pulau Kalimantan memiliki potensi serapan mangrove terbesar, yaitu 94,32 ton CO₂/ha/tahun, diikuti oleh Papua (57,99 ton CO₂/ha/tahun) dan Sulawesi (53,95 ton CO₂/ha/tahun). Mangrove di Pulau Sumatra dan Jawa yang telah banyak terdegradasi menunjukkan potensi serapan karbon yang paling rendah, yaitu berturut-turut 37,07 dan 39,27 ton CO₂/ha/tahun (Gambar 132).

Gambar 132.
Estimasi cadangan
stok karbon
mangrove
Indonesia hasil
integrasi dari
riset Pusat
Riset Kelautan,
BRDSM KP,
KKP dan Pusat
Penelitian
Oseanografi - LIPI.
(Photo Credit :
Wahyudi *et al.*,
2018)



Dengan luas padang lamun yang telah divalidasi oleh Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI pada tahun 2017 seluas 150.693,16 ha, Indonesia memiliki potensi cadangan karbon rata-rata sebesar 0,942 ton C/ha atau total 141,98 kt C di mana variasi cadangan karbon ini berkorelasi dengan jenis dari lamun yang berbeda ukuran. Species yang berukuran besar seperti *E. acoroides* dan *Themprichi* memiliki kemampuan lebih besar dalam menyimpan karbon dibanding spesies yang berukuran kecil, seperti *H. ovalis* atau *H. uninervis*. Sebagaimana pada mangrove, kompartemen penyimpanan karbon terbesar pada ekosistem lamun juga ada pada sedimen (substrat). Ekosistem padang lamun di Indonesia mampu menyimpan 558,35 ton C/ha pada sedimen (total karbon sebesar 84,14 Mt C)

Ekosistem pesisir dan laut juga mengalami degradasi akibat dampak dari aktivitas manusia (antropogenik). Pencemaran air, eutrofikasi, melimpahnya alga beracun, perikanan berlebih adalah beberapa contoh dari ancaman



Gambar 133. Data stok karbon lamun Indonesia (Sumber data: Pusat Riset Kelautan, KKP dan Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI, yang dikompilasi dalam Wahyudi *et al.*, 2018). Catatan : belum memasukkan karbon dari sedimen.

terhadap ekosistem pesisir dan laut. Secara global, mangrove telah hilang sebesar 35 persen dan lamun sebesar 29 persen akibat dari dampak kegiatan budidaya, konversi menjadi tambak, dan akibat dampak kegiatan perikanan lainnya. Secara lebih detil studi oleh Ilman *et al.*, 2016 menyebutkan bahwa kehilangan ekosistem mangrove di Indonesia dari tahun 1800 hingga 2012 untuk pulau-pulau utama adalah Jawa 75 persen, Sumatra 30 persen, Sulawesi 39 persen, Kalimantan 37 persen, Maluku dan Sunda Kecil 9 persen dan Papua 3 persen. Sejalan dengan fenomena yang sama di level global, studi tersebut juga menyebutkan bahwa kerusakan mangrove di Indonesia terutama disebabkan oleh praktek budidaya (tambak) dan pada intensitas yang lebih kecil, yaitu eksploitasi kayu mangrove. Masa depan implementasi konsep karbon biru di Indonesia tergantung dari kebijakan dan manajemen perikanan budidaya ini. Hal ini secara lebih spesifik tergantung dari *demand* produk perikanan budidaya di Indonesia yang dapat dicapai melalui target-target produksi dan bagaimana manajemen/strategi yang dilakukan agar tidak menambah degradasi mangrove yang sudah terjadi.

Pemanfaatan ruang pesisir, utamanya dalam bentuk perikanan tangkap dan budidaya menyumbang terhadap emisi gas rumah kaca saat kegiatan penangkapan/budidaya, *processing*, transportasi dan tahap penyimpanan. Praktek konversi mangrove atau lamun, yang mempunyai simpanan karbon organik besar pada sedimennya, akan melepaskan emisi karbon yang tinggi. Konsumsi energi pada sektor perikanan tangkap tergantung dari beberapa faktor seperti bentuk dan ukuran kapal, jenis alat tangkap, spesies target dan rute migrasinya, pemrosesan produk ikan, pendinginan, pengepakan dan transportasi. Saat operasi penangkapan ikan konsumsi energi terbesar adalah pada bahan bakar, yang mencapai 75-90 persen dari total konsumsi energi. Bahan bakar ini mayoritas digunakan untuk menjalankan mesin kapal dan juga proses pendinginan selama operasi penangkapan. Emisi dari sektor perikanan budidaya mayoritas berasal dari pakan ikan dan menyusul dari input energi seperti pemilihan penggunaan sistem tradisional, intensif atau semi intensif. Setelah ikan makan maka terjadi proses katabolisme protein dan kemudian hasil eksresinya menghasilkan amonia. Setelah terlepas ke

alam, yaitu di dalam tambak, amonia ini akan terkonversi menjadi salah satu gas rumah kaca selain CO₂, yaitu dinitrogen oksida (N₂O) melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi oleh mikroba di alam. Perikanan budidaya juga melepas emisi CO₂ melalui penggunaan generator untuk sistem aerasi, pengaturan suhu, sirkulasi air, pengolahan pakan dan proses pasca-produksi.

Walaupun sektor perikanan tangkap dan budidaya tidak menyumbang emisi GRK sebesar sektor AFOLU, namun strategi mitigasi tetap perlu diterapkan pada sektor ini baik untuk mengurangi emisi itu sendiri dan juga untuk menjaga tekanan terhadap ekosistem pesisir dan laut agar keberadaanya tetap lestari. Strategi mitigasi yang bisa dilakukan antara lain meningkatkan efisiensi energi dengan beralih pada alat tangkap atau wahana yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi serta mengefisiensikan penggunaan pakan.

Dengan adanya setidaknya 3 hal yang terjadi di wilayah pesisir, yaitu fenomena perubahan iklim, kebutuhan pemanfaatan ruang pesisir dan konservasi ekosistem pesisir, maka perlu penerapan konsep kesetimbangan karbon dalam pemanfaatan ruang pesisir. Hal ini artinya pemanfaatan ruang pesisir harus dilakukan dalam koridor konservasi ekosistem pesisir dan sekaligus berdampak rendah karbon.

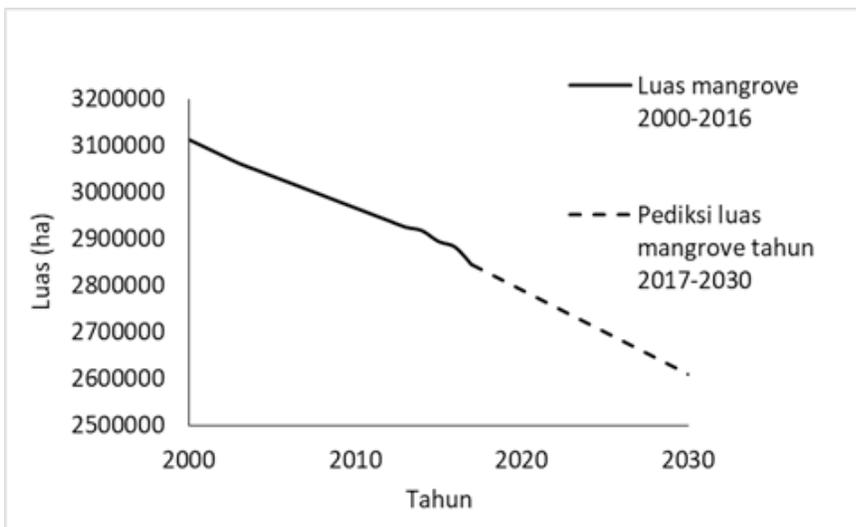
Skenario Mitigasi Perubahan Iklim Menggunakan Karbon Biru

Setelah mengetahui kemampuan ekosistem karbon biru, yaitu mangrove dan lamun, dalam menyimpan / menyerap karbon, maka akan timbul pertanyaan lanjut : dapatkah mangrove dan atau lamun ini digunakan untuk melakukan mitigasi perubahan iklim ? Untuk menjawab hal ini, satu langkah penting yang perlu dilakukan adalah inventarisasi *blue carbon* (dalam kasus ini dicontohkan untuk mangrove) adalah perhitungan baseline untuk luas mangrove di Indonesia hingga tahun 2030. Tahun 2030 dipilih karena merupakan tahun target dalam NDC Indonesia. Tahun dasar (*base year*) yang digunakan adalah luasan mangrove pada rentang waktu 2000 - 2016 yang didapatkan dari berbagai sumber seperti dari Giri et.al (2011), FAO (2007), data rekalkulasi penutupan lahan KLHK, dan juga data hasil interpolasi. Setelah data mangrove tahun 2000 - 2016 berhasil diolah, maka dilakukan ekstrapolasi hingga tahun 2030 menggunakan '*driver*' hilangnya mangrove yang didapatkan dari Ilman *et al.*, (2016). Hasil ekstrapolasi inilah yang disebut sebagai skenario lahan mangrove BAU (*business as usual*), yaitu estimasi luasan mangrove tanpa intervensi aksi mititasi / adaptasi yang kemudian akan dihitung emisinya.

Tabel 15.
Penyebab degradasi mangrove di Indonesia (Ilman *et al.*, 2016)

Jenis penggunaan area mangrove	Penggunaan lahan mangrove minimal	Pembangunan lahan mangrove maksimal
Pemanfaatan kayu mangrove	550 ha/tahun	1.800 ha/tahun
Ekspansi lahan pertanian	1.500 ha/tahun	4.800 ha/tahun
Pembangunan wilayah pesisir	300 ha/tahun	400 ha/tahun

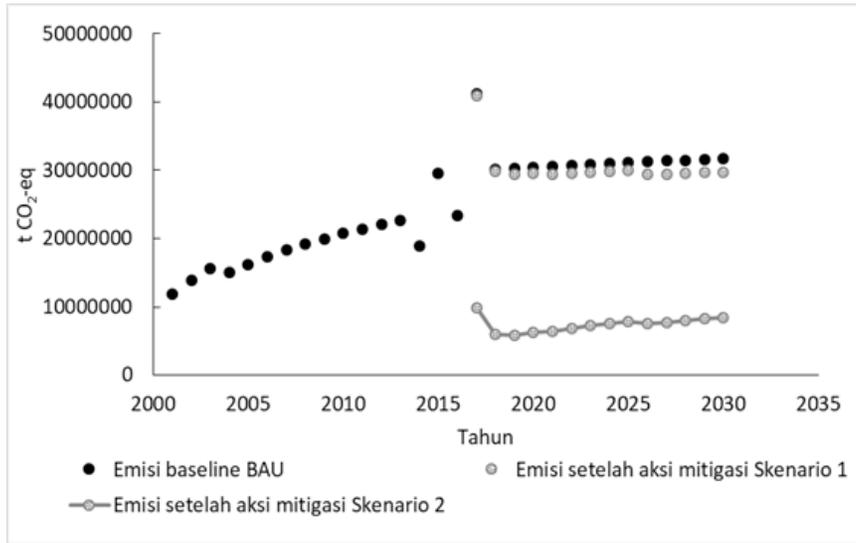
Hasil menunjukkan terjadi penurunan luas mangrove dari tahun 2017-2030 akibat ekspansi tambak lebih besar dari pada penurunan luas mangrove akibat pemanfaatan kayu mangrove, ekspansi lahan pertanian dan pembangunan di wilayah pesisir (Adi *et al.*, 2019). Total perubahan luas mangrove akibat pemanfaatan kayu mangrove, lahan pertanian dan pembangunan di wilayah pesisir secara berurutan adalah 25.200 ha, 67.200 ha dan 5.600 ha. Faktor utama penyebab penurunan luas mangrove adalah ekspansi lahan tambak dengan persentase sebesar 64.14 persen. Prediksi luas mangrove di tahun 2030 adalah 2.609.434, yang mana terjadi penurunan luas sebesar 273.266 ha dari luas mangrove tahun 2016. Secara keseluruhan terjadi penurunan luas mangrove sejak tahun 2000 hingga 2030 (Adi *et al.*, 2019).



Gambar 134. Estimasi perubahan luas mangrove tahun 2000-2030 (Photo credit: Adi *et al.*, 2019).

Skenario penurunan emisi yang digunakan dalam kajian ini ada dua yaitu, skenario pertama, melalui penanaman mangrove saja dan skenario 2 melalui penanaman mangrove dan upaya konservasi melalui pembatasan penggunaan lahan mangrove menjadi area penggunaan lahan lain. Skenario pertama terutama didasarkan pada Strategi Nasional Pengelolaan Mangrove yang tertuang dalam Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian No. 4 Tahun 2017 tentang Kebijakan, Strategi, Program dan Indikator Kinerja Pengelolaan Ekosistem Mangrove Nasional yang merupakan turunan dari Peraturan Presiden No. 73 Tahun 2012 tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Kebijakan tersebut berisi bahwa Indonesia memiliki target luas mangrove dalam kondisi baik di tahun 2045 yaitu 3,49 juta ha dengan tetap mempertahankan luas mangrove yang berada dalam kondisi baik saat ini yaitu 1,67 juta ha dan penambahan luas mangrove sebesar 1.820.000 ha hingga tahun 2045.

Gambar 135. Skenario penurunan emisi menggunakan skenario 1 (hanya melalui rehabilitasi mangrove) dan skenario 2 (rehabilitasi mangrove, *silvo-fishery* dan pembatasan alih guna lahan mangrove) (Photo credit : Adi *et al.*, 2019)



Hasil potensi penurunan emisi dari skenario 1, yaitu hanya melalui kegiatan penanaman mangrove menunjukkan penurunan emisi tahunan di tahun 2030 sebesar 1.897.771,68 t CO₂-eq. Hasil ini cenderung rendah dan hanya merepresentasikan penurunan emisi sebesar 5,99 persen dari emisi baseline BAU di tahun 2030 yaitu 31.659.669,67 t CO₂-eq. Potensi penurunan emisi di tahun 2030 dari skenario 2, yaitu integrasi dari rehabilitasi mangrove, kegiatan tambak silvofishery dan pembatasan alih lahan mangrove pada level minimal tahun 2017-2030 berdasarkan model proyeksi perubahan luas mangrove menurut Ilman *et al.*, (2016) adalah 21.335.032,80 t CO₂-eq atau setara dengan pengurangan 57,93 persen dari emisi *baseline* BAU (Adi *et al.*, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa aksi mitigasi menggunakan prinsip *blue carbon* dengan hanya menanam mangrove saja hasilnya tidak akan signifikan, atau sangat kecil penurunannya dibanding emisi *baseline* (6 persen). Aksi mitigasi yang signifikan hanya dapat dilakukan melalui kombinasi rehabilitasi mangrove dan pada saat yang bersamaan mencegah konversi lahan mangrove menjadi peruntukan lainnya (nonmangrove). Konsekuensi strategi seperti ini sebetulnya cukup luas jika ingin diimplementasikan. Satu hal adalah perlu adanya ‘pertimbangan *Blue carbon*’ di dalam tata ruang yang mengatur wilayah pesisir dan laut sehingga tidak ada konversi pada ekosistem *Blue carbon*. Pada sisi lain, kebijakan konservasi juga perlu konsisten diterapkan, yaitu mengidentifikasi lokasi-lokasi yang mengalami degradasi mangrove dan lalu dilakukan rehabilitasi pada lokasi-lokasi tersebut.

8.4 Adaptasi Perubahan Iklim

Jika mitigasi perubahan iklim diartikan atau dimaksudkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca secara langsung dengan berbagai cara, maka adaptasi

perubahan iklim difokuskan pada langkah penyesuaian akibat dari efek iklim aktual atau yang diprediksikan sehingga mampu beradaptasi dengan perubahan iklim yang terjadi (IPCC, 2014).

Walaupun seandainya emisi dapat segera distabilkan, pemanasan global dan dampaknya akan terasa dalam waktu yang lama sehingga langkah adaptasi diperlukan untuk mengantisipasi perubahan iklim. Aksi adaptasi dapat berupa aksi yang *incremental* atau bertahap di mana suatu sistem dipertahankan esensi dan integritasnya, atau aksi yang bersifat transformatif di mana perubahan mendasar suatu sistem diperlukan karena dampak perubahan iklim (Noble *et al.*, 2014).

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia Indonesia merupakan salah satu negara yang paling rentan terhadap dampak negatif perubahan iklim. Model perubahan iklim global secara umum memprediksi semua wilayah Indonesia akan mengalami kenaikan temperatur termasuk temperatur permukaan laut yang akan mengakibatkan berbadai dampak sosial-ekonomi maupun ekologis. Upaya dan strategi adaptasi, baik untuk jangka pendek, menengah, maupun untuk jangka panjang dirasakan perlu untuk melindungi masyarakat dan menghindari kerugian ekonomi yang lebih besar di kemudian hari akibat perubahan iklim, dan dalam konteks sektor kelautan-perikanan juga untuk melindungi ekosistem pesisir-laut kunci, seperti mangrove, karang, dan lamun. Di Indonesia dampak ekonomi perubahan iklim diperkirakan sangat besar walaupun masih sulit diperhitungkan secara pasti. Pembangunan nasional dengan agenda adaptasi terhadap dampak perubahan iklim memiliki tujuan akhir agar tercipta sistem pembangunan yang adaptif atau tahan terhadap perubahan iklim yang terjadi saat ini. Untuk mengantisipasi hal ini pemerintah Indonesia telah menyusun Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (Dokumen RAN API, 2014).

Adaptasi perubahan iklim di Indonesia diarahkan sebagai:

1. Upaya penyesuaian dalam bentuk strategi, kebijakan, pengelolaan/ manajemen, teknologi dan sikap agar dampak (negatif) perubahan iklim dapat dikurangi seminimal mungkin, dan bahkan jika memungkinkan dapat memanfaatkan dan memaksimalkan dampak positifnya.
2. Upaya mengurangi dampak (akibat) yang disebabkan oleh perubahan iklim, baik langsung maupun tidak langsung, baik kontinu maupun diskontinu dan permanen serta dampak menurut tingkatnya.

Pada dokumen RAN - API 2014 wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil masuk ke dalam kategori "Ketahanan Wilayah Khusus". Ketahanan wilayah khusus merujuk pada kemampuan beberapa wilayah yang menghadapi ancaman perubahan yang khusus untuk bertahan dan pulih pada saat terjadinya gangguan. Perubahan khusus dalam hal ini berkaitan dengan wilayah yang memiliki tingkat kerentanan yang tinggi, misalnya wilayah yang

didiami masyarakat marjinal, sehingga memerlukan perhatian yang lebih besar secara seksama. Ada dua sub bidang pada kategori Ketahanan Wilayah Khusus ini, yaitu Sub Bidang Perkotaan dan Sub Bidang Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.

Dalam RAN-API ini, penyusunan sasaran untuk sub bidang Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil dilakukan untuk mencapai sasaran bidang ketahanan wilayah prioritas, yakni pengelolaan kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil yang rentan terhadap dampak perubahan iklim. Untuk mencapai sasaran sub bidang Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil tersebut, beberapa sasaran antaranya adalah :

1. Peningkatan kapasitas kehidupan masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil terkait dengan isu perubahan iklim.
2. Pengelolaan dan pendayagunaan lingkungan dan ekosistem untuk adaptasi perubahan iklim
3. Penerapan tindakan adaptasi struktural dan non struktural di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil yang rentan terhadap perubahan iklim.
4. Pengintegrasian upaya adaptasi perubahan iklim ke dalam rencana pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil
5. Peningkatan sistem pendukung adaptasi perubahan iklim di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil

Perubahan iklim dapat menyebabkan dampak negatif terhadap sumberdaya alam Indonesia yang berpotensi mengganggu produksi dan distribusi makanan, air dan energi. Di dalam dokumen *Nationally Determined Contributions* (NDC) Pemerintah Indonesia berpandangan bahwa integrasi aksi mitigasi dan adaptasi merupakan langkah inti untuk membangun resiliensi dalam menjaga sumberdaya makanan, air dan energi. Hingga tahun 2020 pemerintah Indonesia berencana meningkatkan aksi untuk mempelajari dan memetakan kerentanan wilayah sebagai dasar sistem informasi adaptasi dan memperkuat kapasitas institusi, baik secara kelembagaan dan regulasi yang mengintegrasikan aspek adaptasi perubahan iklim (Dokumen NDC Indonesia, 2016). Strategi jangka menengah adaptasi perubahan iklim Indonesia adalah mengurangi resiko pada semua sektor pembangunan (pertanian, air, energi, keamanan, kehutanan, kelautan-perikanan, kesehatan, pelayanan publik, infrastruktur dan sistem kependudukan) pada tahun 2030 melalui penguatan kapasitas lokal, peningkatan manajemen pengetahuan, pemfokusan pengembangan kebijakan pada adaptasi perubahan iklim dan pengurangan risiko bencana dan penerapan teknologi adaptasi (Dokumen NDC Indonesia, 2016).

Kebutuhan langkah adaptasi dan kapasitas adaptif manusia bervariasi antar wilayah dan populasi, bergantung dari tingkat vulnerabilitas dan sensitivitas dampak lingkungan akibat perubahan iklim (Green *et al.*, 2010). Kapasitas adaptasi berkaitan erat dengan kondisi sosial dan ekonomi suatu negara dan masyarakat di mana kebutuhan pendanaan untuk langkah adaptasi diprediksi akan terus meningkat di masa depan. Tantangan untuk melakukan langkah adaptasi perubahan iklim akan semakin besar ke depan dan diprediksi merupakan strategi kunci mengantisipasi perubahan iklim karena intensitas perubahan iklim yang semakin meningkat walaupun berbagai upaya mitigasi telah dilakukan (Klein *et al.*, 2007).

BAB IX

Pencemaran Pesisir dan Laut

Devi Dwiyanti Suryono

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Agustin Rustam

Pusat Riset Kelautan

Badan Riset dan SDM Kelautan dan Perikanan

Sitasi:

Suryono D. D., & Rustam A. 2019. Pencemaran Pesisir dan Laut, in S. Widjaja dan Kadarusman (eds), Sumber Daya Non Hayati Maritim, Seri Buku Besar Maritim Indonesia. Amafrad Press. Jakarta.

Pencemaran Pesisir dan Laut

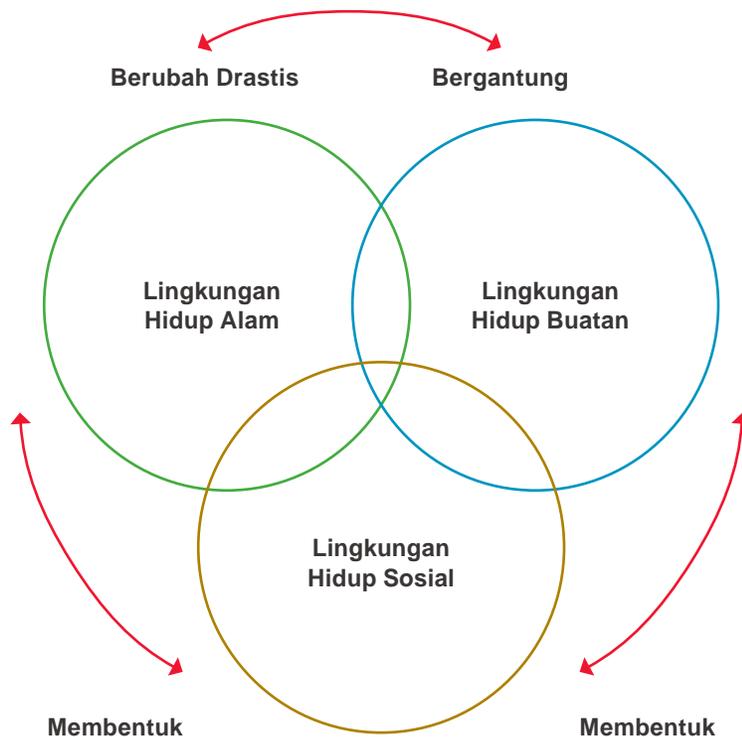
Wilayah pesisir adalah wilayah pertemuan antara daratan dan laut. Ke arah darat meliputi bagian daratan yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut dan intrusi garam. Sedangkan ke arah laut mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses alami yang ada di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar serta daerah yang dipengaruhi oleh kegiatan-kegiatan manusia di daratan.

Hal di atas menunjukkan bahwa tidak ada garis batas yang nyata, sehingga batas wilayah pesisir hanyalah garis khayal yang letaknya ditentukan oleh situasi dan kondisi setempat. Misalnya di delta Sungai Mahakam (Kalimantan Timur) dan Sungai Musi (Sumatra Selatan), garis batas pesisir dapat berada jauh dari garis pantai. Sebaliknya di tempat yang berpantai curam dan langsung berbatasan dengan laut dalam, wilayah pesisirnya akan sempit. Wilayah ini telah banyak dimanfaatkan dan memberikan sumbangan yang berarti, baik bagi peningkatan taraf hidup masyarakat maupun sebagai penghasil devisa negara yang sangat penting. Aktivitas perekonomian yang dilakukan di kawasan pesisir diantaranya adalah kegiatan perikanan (tangkap dan budidaya), industri, dan pariwisata.

9.1 Tata Kelola Wilayah Pesisir

Berdasarkan Undang-undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil definisi wilayah pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut.

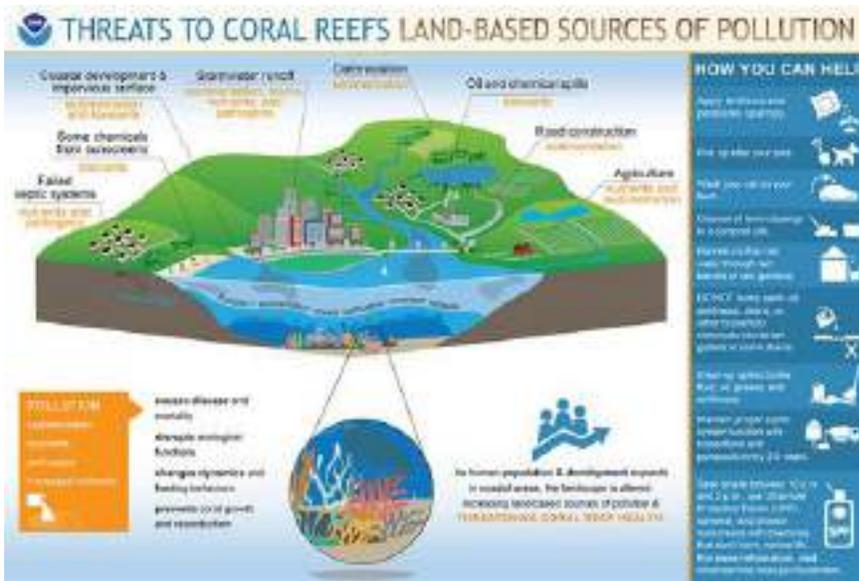
Perairan wilayah pesisir merupakan wilayah ekosistem yang sangat produktif dan biasanya proses pembangunan juga dipusatkan di daerah pesisir. Selain proses pembangunan, aktivitas masyarakat juga seringkali terpusat di daerah pesisir, seperti aktivitas industri, pertanian, perikanan, pertambangan, dan pariwisata. Wilayah pesisir adalah satu kesatuan sistem yang selaras dan seimbang antara sub sistem lingkungan hidup alam (ekosistem kelautan), sub sistem lingkungan hidup buatan kelautan (binaan), serta sub sistem lingkungan hidup sosial nelayan, sehingga bila salah satu sub sistem lingkungan tersebut terganggu akan terjadi ketidakseimbangan yaitu terjadinya pencemaran lingkungan. Seperti terlihat pada Gambar 137, yang menunjukkan adanya hubungan timbal balik dan saling kebergantungan antara sub sistem lingkungan hidup alam, sub sistem lingkungan hidup buatan, dan sub sistem lingkungan hidup sosial.



Gambar 137.
Lingkungan
Hidup Manusia
yang Terdiri
dari Lingkungan
Hidup Alam,
Lingkungan
Hidup Buatan,
dan Lingkungan
Hidup Sosial
(Soerjani, 1992)

Fakta juga menunjukkan bahwa kawasan pesisir merupakan tempat konsentrasi penduduk yang paling padat. Sekitar 75 persen dari total penduduk dunia bermukim di kawasan pesisir. Keadaan serupa juga terjadi di Indonesia, yaitu hampir 60 persen jumlah penduduk yang tinggal di kota-kota besar (seperti Jakarta, Surabaya, Semarang, Medan, dan Makassar) menyebar di kawasan pesisir (Dahuri *et al.*, 1996). Aktivitas perekonomian yang dilakukan di kawasan pesisir menyebabkan kawasan pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan.

Kenyataan tersebut menunjukkan bahwa kawasan pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan disebabkan tingginya tingkat kegiatan pembangunan. Salah satu bentuk tekanan terhadap lingkungan adalah pencemaran.



Gambar 138. Tekanan pada pesisir dan laut (Photo credit: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/coral-pollution.html>)

Salah satu bentuk tekanan terhadap lingkungan adalah pencemaran. Pencemaran perairan pesisir dapat terjadi akibat masukan bahan pencemar atau limbah dari kegiatan yang terjadi di daratan sekitarnya (*land based pollution*), daratan dengan cakupan yang lebih luas melalui sungai, maupun hasil kegiatan yang ada di perairan pesisir dan laut itu sendiri (*sea based pollution*), seperti kegiatan pelabuhan, pelayaran, dan penambangan lepas pantai. Menurut Undang-Undang No 32 Tahun 2014 Pencemaran Laut adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan laut yang telah ditetapkan. Pada dasarnya pencemaran terjadi akibat terlalu banyaknya bahan pencemar yang masuk ke suatu perairan hingga melampaui daya dukung alamnya.

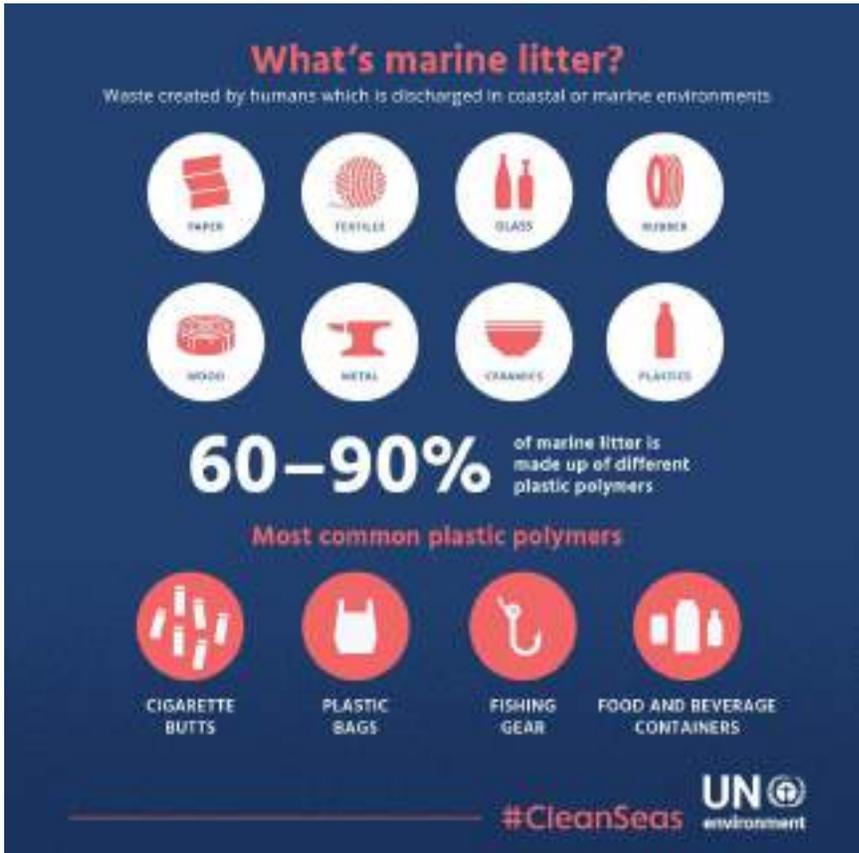
9.2 Masalah Pencemaran Wilayah Pesisir dan Laut Indonesia

Pencemaran laut yang terjadi di Indonesia merupakan permasalahan yang sangat penting, di mana menurut penelitian ilmiah, besaran pencemaran yang terjadi, sumber, dan masalahnya merupakan sesuatu yang sangat kompleks. Karena meliputi permasalahan di daratan dan lainnya yang belum dilakukan secara berkelanjutan dan terintegrasi di segala sektor. Biasanya permasalahan muncul setelah ada kejadian misal tumpahan minyak akibat tabrakan kapal tanker, dan lain lain. Dipicu dengan adanya naskah ilmiah Jambeck *et al.*, 2015, yang menyatakan Indonesia merupakan penyumbang sampah plastik kedua di dunia setelah Cina, hal ini perlu dibuktikan secara ilmiah. Mengingat posisi Indonesia yang khas diantara dua samudra besar dan dua benua, serta berupa negara kepulauan dengan jantung daerah segitiga berada di Indonesia dengan keanekaragaman hayati tertinggi dunia khususnya di laut (karang dan perikanannya).

Indonesia merupakan jalur pelayaran internasional dari benua yang berada di utara khatulistiwa menuju ke benua yang berada di selatan khatulistiwa, hal ini menjadikan wilayah indonesia rentan dengan pencemaran yang terjadi di laut. Jumlah penduduk yang melebihi 320 juta jiwa dengan diperkirakan lebih dari 50 persen tinggal di wilayah pesisir juga menjadikan salah satu permasalahan yang menyumbang pencemaran ke laut dengan limbah domestik yang akhirnya bermuara ke laut. Permasalah pencemaran laut di Indonesia dapat dibagi antara lain sampah laut (*marine debris*) yang dapat didetilkkan lagi menjadi sampah plastik dan mikroplastik, tumpahan minyak, logam berat, eutrofikasi (*algae blooming* dan *hypoksia*) dan air balast kapal (*invasive aliens*).

9.2.1 Sampah Laut (*Marine debris*)

UNEP (2009) mendefinisikan sampah laut atau kotoran laut sebagai “bahan padat yang sulit terurai, hasil pabrikan, atau olahan yang dicampakkan, dibuang, atau dibiarkan di lingkungan laut dan pesisir”. Sampah laut terdiri dari barang-barang yang dibuat atau digunakan oleh manusia dan secara sengaja dibuang ke laut atau sungai, atau dibiarkan tergeletak di pantai atau pesisir; terhanyutkan secara tak langsung ke laut melalui sungai, saluran pembuangan air, air limpasan, atau angin; atau secara tak sengaja hilang, termasuk barang-barang yang hilang di laut (perlengkapan penangkapan ikan). Sampah laut terdapat di semua habitat laut, mulai dari kawasan-kawasan padat penduduk hingga lokasi-lokasi terpencil yang tak terjamah manusia; dari pesisir dan kawasan air dangkal hingga palung-palung laut dalam. Kepadatan sampah laut beragam dari satu lokasi ke lokasi lain, dipengaruhi oleh kegiatan-kegiatan manusia, kondisi perairan atau cuaca, struktur dan perilaku permukaan bumi, titik masuk, dan karakteristik fisik dari materi sampah.



Gambar 139. Jenis-jenis sampah laut (Photo credit: <http://www.hijauku.com/2017/03/19/sampah-di-lautan-adalah-ulah-manusia/>)

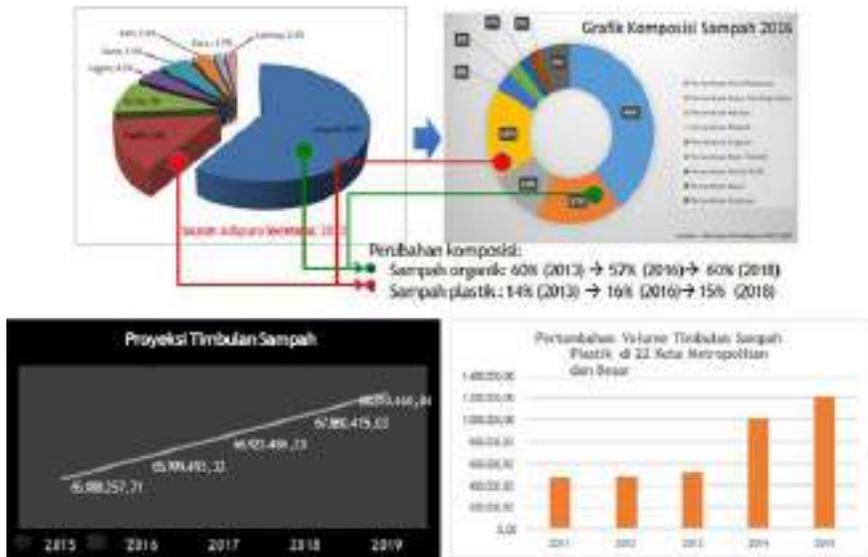
Bank Dunia (2018) dalam kajian cepatnya mengatakan sampah laut dapat digolongkan dalam beberapa kategori:

- Plastik, mencakup beragam materi polimer sintesis, termasuk jaring ikan, tali, pelampung dan perlengkapan penangkapan ikan lain; barang-barang konsumen keseharian, seperti kantong plastik, botol plastik, kemasan plastik, mainan plastik, wadah tampon; popok; barang-barang untuk merokok, seperti puntung rokok, korek api, pucuk cerutu; butir resin plastik; partikel plastik mikro;
- Logam, termasuk kaleng minuman, kaleng aerosol, pembungkus kertas timah dan pembakar (*barbeque*) sekali pakai;
- Gelas, termasuk botol, bola lampu;
- Kayu olahan, termasuk palet, krat/peti, dan papan kayu;
- Kertas dan kardus, termasuk karton, gelas, dan kantong;
- Karet, termasuk ban, balon, dan sarung tangan;
- Pakaian dan tekstil, termasuk sepatu, bahan perabot, dan handuk.

Sumber terbesar sampah laut di Indonesia adalah dari daratan. Sampah ini umumnya berasal dari limbah rumah tangga, industri kecil, limbah pertanian yang dibuang ke badan sungai yang akhirnya sampai ke laut. Produksi sampah nasional Indonesia tahun 2017 sebesar 65,8 juta ton, dan tahun 2018 65,752 juta ton dan tahun ini diperkirakan antara 66 -67 juta ton, dengan komposisi 60 persen sampah organik dan sampah plastik 15 persen (Nurbaya, 2019).

Ratnawati (2019) mengatakan komposisi jenis sampah di Indonesia 50 persen organik seperti sisa makanan dan sisa tumbuhan; 15 persen plastik, 10 persen kertas dan 25 persen lainnya berupa logam, karet, kain, kaca dan lain-lain. Berdasarkan sumber penghasil sampah adalah rumah tangga 48 persen, pasar tradisional 24 persen, kawasan komersial 9 persen dan sisanya fasilitas publik, sekolah, kantor, jalan dan sebagainya. Dikatakan juga hasil studi tahun 2008 oleh KLH di beberapa kota pola pengelolaan sampah di Indonesia: diangkut dan ditimbun di TPA (69 persen), dikubur (10 persen) dikompos dan di daur ulang (7 persen), dibuang ke sungai (3 persen) tidak terkelola (7 persen). Kecenderungan timbulan sampah meningkat setiap tahunnya, dan adanya fluktuasi perubahan komposisi sampahnya dengan adanya kecenderungan sampah plastik menurun (KLHK, 2019). Kecenderungan sampah plastik menurun dapat disebabkan mulai meningkatnya pemahaman masyarakat untuk mendaur ulang sampah plastik untuk dimanfaatkan menjadi suatu kerajinan. Hal ini dimulai dengan melakukan pemilahan

KOMPOSISI SAMPAH NASIONAL (KLHK)



Gambar 140. Komposisi Sampah Nasional (sumber: KLHK, 2019)

KEBOCORAN PLASTIK DARI DARAT KE LINGKUNGAN LAUT INDONESIA



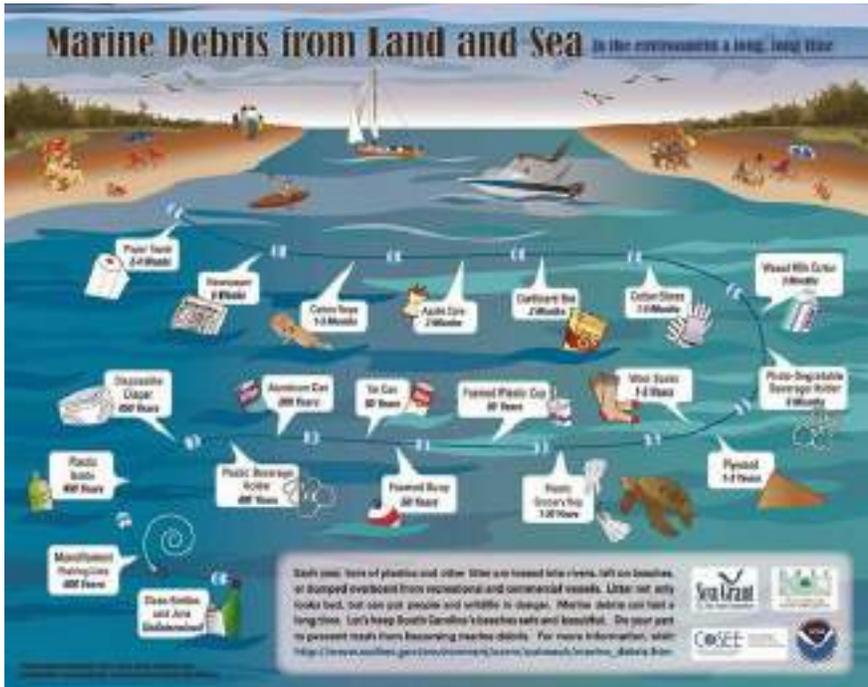
Gambar 141. Kebocoran sampah plastik ke laut 80 persen berasal dari darat (Photo credit: Hendiarti, 2018)

sampah mulai dari diri sendiri, yang diharapkan tidak ada sampah lagi yang dibuang semua dapat dimanfaatkan.

Hasil penelitian tahun 2008 jika dipergunakan pada produksi sampah nasional tahun 2018 sebesar 65,75 juta ton maka sampah yang akan ke laut diasumsikan berasal dari sungai/darat kurang lebih 1,97 juta ton dengan berbagai jenis sampah dan yang menjadi sampah laut berdasarkan Bank Dunia (2018) sebesar 0,985 juta ton. Nilai ini belum ditambah sampah laut yang bersumber dari laut itu sendiri, buangan dari nelayan/kapal, air balast kapal, ataupun kecelakaan di laut. Besaran sampah laut berdasarkan kategori Bank Dunia (2018) yang berasal dari daratan terbesar adalah plastik 0,148 juta ton, kertas/kardus 0,099 juta ton sisanya terdiri dari lima jenis sampah laut. Hasil yang berbeda dari analisis yang dilakukan tim Bank Dunia (2017) terhadap sampah nasional Indonesia diperkirakan sampah laut terutama plastik sebanyak 80 persen berasal dari daratan dengan jumlah yang tinggi sesuai penelitian Jambeck *et al.*, 2015 sebesar 1,29 juta ton (Gambar 141).

Keberadaan berbagai jenis sampah di perairan laut memiliki rentang waktu yang berbeda keberadaannya dan mengalami berbagai proses yang dijelaskan di atas (Gambar 142). Selama proses yang berlangsung dalam waktu tersebut maka akan mempengaruhi lingkungan dan biota yang ada di dalamnya yang akhirnya akan berdampak pada pendapatan mata pencaharian dan kesehatan masyarakat.

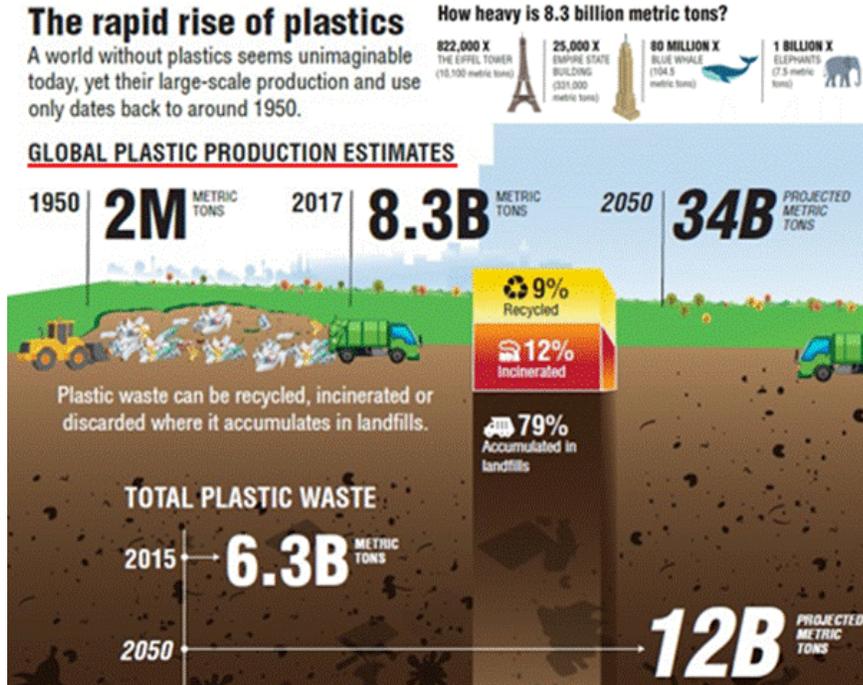
Gambar 142. Keberadaan sampah laut dengan waktu yang diperlukan untuk terurai (Photo Credit: <http://www.neighborsforcleanwater.org/2014/01/marine-debris-from-land-to-sea-in.html>)



A. Plastik dan Mikro Plastik

Berdasarkan perhitungan sampah laut yang berasal dari daratan di atas, maka diperkirakan sampah laut jenis plastik produksi tahun 2018 yang masuk ke laut sebesar 0,148 juta ton. Sampah laut jenis plastik saat ini hangat dibicarakan dengan dipicu adanya *paper* yang ditulis Jambeck *et al.*, (2015), di mana disebutkan bahwa Indonesia penyumbang terbesar kedua sampah laut jenis plastik setelah Tiongkok. Hal ini masih perlu dikaji dan diteliti kembali dengan baik dari perhitungan kasar dari berbagai informasi dan data sekunder seperti di atas nilai ini lebih rendah dari hasil Jambeck *et al.*, (2015). Namun hal positif yang dapat diambil adalah, adanya upaya melalui berbagai peraturan baik nasional maupun daerah untuk melakukan diet plastik, mengurangi pemakaian berbagai jenis produk plastik, melakukan daur ulang yang kreatif dan menghindari pemakaian plastik sekali pakai.

Keberadaan sampah plastik tidak dipungkiri meningkat dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia dalam mempergunakan alat maupun bahan terutama untuk konsumsi sehari-hari seperti pembungkus makanan, pakaian dll, dan dikatakan sampah plastik menyumbang 10 persen dari total sampah yang dihasilkan oleh manusia (Bank Dunia, 2015). Hal ini dibuktikan dengan produksi plastik dunia meningkat setiap tahunnya dan mencapai 350 juta ton pada tahun 2017 (*Plastics Europe*, 2018). Jumlah produksi ini diperkirakan akan meningkat sampai 100 kali lipat pada tahun 2050 mendatang (Rochman *et al.*, 2013; Seltenrich, 2015) (Gambar 143).



Gambar 143. Keberadaan plastik dari tahun ke tahun (Photo credit: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/>)

Plastik yang dipergunakan sebagian besar langsung dibuang (sekali pakai) dan umumnya tidak mengalami daur ulang yang berakhir di laut, selanjutnya menjadi sumber polusi di lautan. Beberapa hasil penelitian mengatakan sampah laut didominasi lebih dari 60 persen merupakan sampah plastik (Moore, 2008; Galgani, 2015). Plastik meskipun bersifat persisten (lama terurai), seiring dengan waktu dan proses fisik, biologi maupun kimia yang terjadi dapat terdegradasi menjadi partikel yang lebih kecil. Sampah plastik banyak ditemukan mengapung di laut, dapat terdegradasi oleh sinar ultraviolet, panas, mikroba, dan abrasi fisik menjadi serpihan plastik yang akhirnya menjadi partikel berukuran mikro yang disebut mikroplastik (Singh & Sharma, 2008) (Tabel 19).

Biologis	Kimiawi	Fisika / mekanis
Jamur, bakteri	Hidrolisis	Pencucian
Predator	Oksidasi	Sinar matahari
Organisme yang lebih tinggi		Iklim
		Tekanan mekanis

(Chiellini, 2001)

Tabel 19. Faktor-faktor yang berpotensi mempengaruhi degradasi polimer plastik

Partikel-partikel plastik yang disebut mikroplastik merupakan partikel berukuran diameter kurang lebih 5 mm. Batas bawah ukuran partikel yang termasuk dalam kelompok mikroplastik belum didefinisikan secara pasti namun kebanyakan penelitian mengambil objek minimal 300 µm.

Mikroplastik terbagi menjadi 2 kategori ukuran besar yaitu (1-5 mm) dan kecil (<1 mm) (Tankovic, 2015).

Akhir-akhir ini dampak sampah plastik pada biota di laut sering ditemukan antara lain kasus penyu laut yang terganggu pernapasan dengan adanya sedotan masuk ke lubang hidung, paus yang mati ditemukan sampah plastik di perut. Berbagai foto biota yang sedang makan plastik (Gambar 145 dan 146). Selain itu sampah laut mengurangi keindahan penyelaman alam laut (terumbu karang) maupun pesisir.

Kisaran nilai sampah laut plastik dan mikroplastik diperairan Indonesia antara lain hasil penelitian Germanov *et al.*, (2016) di Nusa Penida dan Taman Nasional Komodo untuk sampah plastik dengan pengamatan visual terdiri dari: plastik 6 persen dan 21 persen; botol kedua lokasi sama 1 persen; gabus 8 persen dan 4 persen; plastik tipis (kantong kresek) 84 persen dan 70 persen; lain-lain 1 persen dan 4 persen. Hasil untuk sampah mikroplastik yang tersaring adalah monofilamen 3 persen dan 1 persen; pecahan plastik 28 persen dan 60 persen; gabus 3 persen, di Taman Nasional Komodo tidak ditemukan; plastik tipis 59 persen dan 35 persen; lain-lain 3 persen dan 4 persen.

Gambar 144.
Penyu sedang
memakan plastik
(Photo credit: www.
shutterstock.com)



Gambar 145.
Ikan paus yang
memakan sampah
plastik (Photo
credit: www.
shutterstock.com)



Penelitian lainnya dilakukan oleh peneliti P2O LIPI selama pelayaran EWIN tahun 2017 di Pulau Simeuleu pada ekosistem padang lamun nilai mikroplastik di ekosistem padang lamun rata-rata $5,8 \pm 1,94$ partikel/kg lebih rendah dibandingkan di luar ekosistem padang lamun yaitu $15 \pm 4,67$ partikel/kg. Selain itu di perairan terumbu karang di Sekotong, Lombok nilai mikroplastik $48,3 \pm 13,98$ partikel/kg (Cordova dan Hernawan, 2017).

9.2.2. Logam Berat dan Pestisida

Pencemaran laut lainnya adalah keberadaan logam berat dan pestisida. Aktivitas manusia terutama industri banyak menghasilkan limbah logam berat, aktivitas pertanian banyak menghasilkan limbah pestisida. Pengolahan limbah yang kurang baik menyebabkan bahan pencemar terbuang bersama air limbah dan akhirnya terbawa ke laut. Logam berat umumnya bersifat racun bagi biota, proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dapat menyebabkan kematian pada biota. Beberapa kasus yang cukup terkenal akibat pencemaran logam berat yang terkenal “Minamata Disease” (di Jepang) yang disebabkan oleh Hg (merkuri), “Itai-itai Disease” yang disebabkan oleh logam Cd (kadmium).



Gambar 146. Keindahan anemon dalam ekosistem terumbu karang ternodai dengan adanya sampah plastik (Photo credit: www.shutterstock.com)



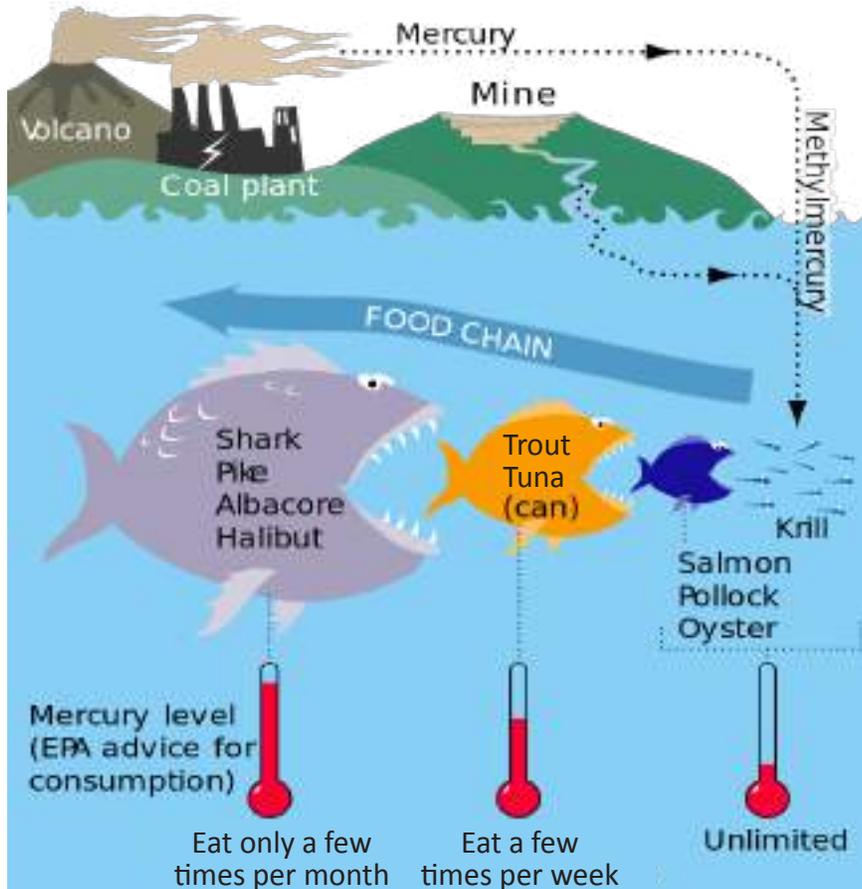
Gambar 147. Keindahan alam laut ternodai dengan adanya sampah laut, keindahan warna warni karang tropis dengan kaleng bekas minum (Photo credit: www.shutterstock.com)

Kasus pencemaran logam berat yang cukup terkenal di Indonesia akibat pembuangan tailing dari aktivitas penambangan yang terjadi di perairan Timika, Papua akibat penambangan emas oleh PT Freeport dan di perairan Teluk Buyat di Sulawesi Utara oleh PT Newmont Minahasa Raya. Kedua kasus ini tidak terbukti bahwa aktivitas pembuangan tailing menyebabkan pencemaran logam berat di laut. Aktivitas penambangan rakyat di Pulau Buru akhir-akhir juga diindikasikan terjadi pencemaran logam berat terutama merkuri (Rustam *et al.*, 2019).

Keberadaan logam berat yang bersifat bioakumulasi dalam rantai makanan juga dipengaruhi oleh kebiasaan makan (*feeding habit*). Kebiasaan makan biota terbagi atas *Phytophagus* (misal : Gastropoda, Crustacea), *Filter feeding* (misal : Zooplankton, barnacle, dan bivalva), *Sediment feeding* (misal: Polychaeta dan oligochaeta) *Detritus feeding* (misal : gastropoda, isopoda, dan amphipoda), *Carnivorous* (misal : Zooplakton, Polychaeta, gastropoda, Crustacea, larva serangga air tawar dan ikan) (Prosi, 1979). Kebiasaan makan ini memiliki pengaruh toksisitas logam berat terhadap biota tersebut atas dasar daya racunnya dibagi menjadi 2 yaitu: yang bersifat *lethal* atau mematikan -> LC50 (*median lethal concentration*) dan yang bersifat *sublethal*, di mana biota *filter feeding* akan menyebabkan bioakumulasi tinggi ditubuhnya dan umumnya biota yang bersifat menetap (*sesile*) sehingga dapat menjadi bioindikator logam berat di perairan laut.

Beberapa logam berat yang berbahaya jika berlebih di perairan laut adalah kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn) dan merkuri (Hg). Air Raksa atau *Mercury* (Hg) adalah salah satu logam berat dalam bentuk cair. Pencemaran merkuri di perairan laut lebih banyak disebabkan oleh faktor manusia dibanding faktor alam. Manusia telah memanfaatkan merkuri sudah sangat lama yaitu mercury oksida (HgO) dan mercury sulfida (HgS) sebagai zat pewarna dan bahan kosmetik terutama sebagai pemutih. Saat ini pemanfaatan merkuri sudah dalam berbagai bidang seperti produk elektronik, industri pembuatan cat, pembuatan gigi palsu, peleburan emas, dan dalam industri makanan. Pemanfaatan merkuri sebagai elektroda dalam pembuatan soda api dalam industri makanan seperti minyak goreng, produk susu, kertas timah, pembungkus makanan juga kadang mencemari makanan tersebut.

Kasus pencemaran merkuri mulai mendapat perhatian dengan adanya kasus di teluk Minamata, Jepang tahun 1953. Saat itu banyak orang mengalami penyakit yang mematikan akibat mengonsumsi ikan, kerang, udang dan makanan laut lainnya yang mengandung merkuri yang menyebabkan ribuan orang mati dalam kurun waktu dari tahun 1953 sampai 1975. Hal ini disebabkan pemanfaatan merkuri klorida sebagai katalisator oleh industri Kimia Chisso dengan limbah senyawa metil merkuri (CH_3Hg) langsung dibuang ke Teluk Minamata. Proses rantai makanan keberadaan senyawa ini mencapai konsentrasi tinggi pada biota kerang, udang dan ikan yang merupakan konsumsi sehari-hari. Konsentrasi atau kandungan mercury dalam rambut beberapa pasien di rumah sakit Minamata mencapai lebih 500

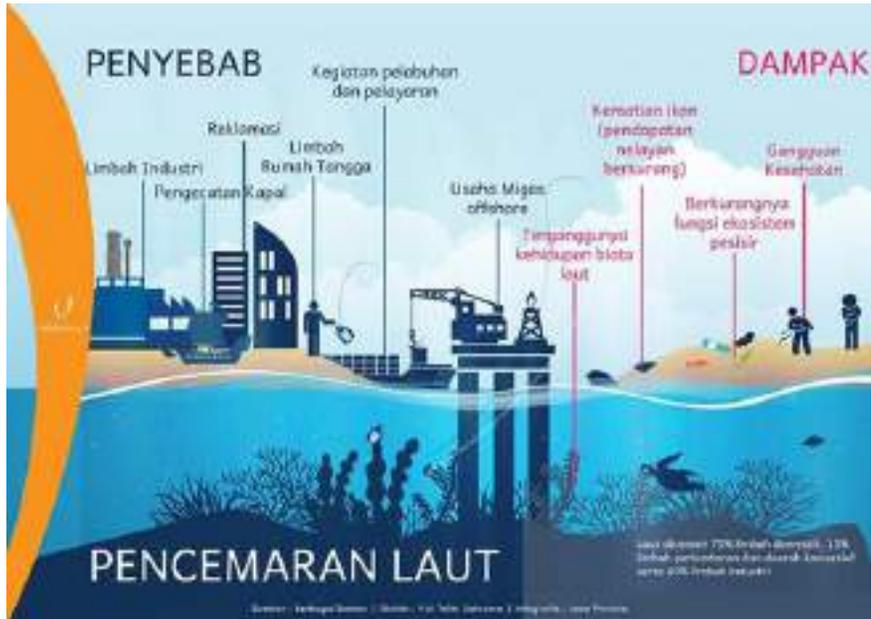


Gambar 148. Proses perjalanan merkuri dalam rantai makanan di laut
(Photo credit: Bretwood Higman, Ground Truth Trekking/ wikipedia.org)

ppm yang menyebabkan terserang penyakit syaraf, lumpuh, kehilangan indera perasa dan bahkan banyak yang meninggal dunia, dikenal sebagai tragedi Minamata.

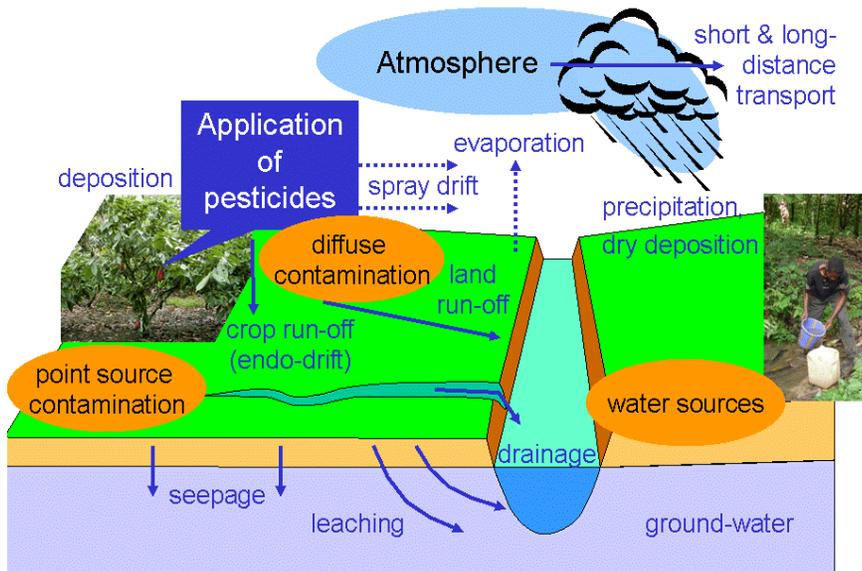
Penelitian terkait logam berat di perairan laut Indonesia masih bersifat sporadis, belum terintegrasi menjadi suatu kajian yang dapat menjadi *baseline* data keberadaan logam berat khususnya merkuri di perairan Indonesia. Nilai logam berat antimon (Sb), arsen (As) dan merkuri (Hg) di perairan Indonesia lokasi penambangan PT Newmont Minahasa Raya hasil penelitian Pusarpedal-KLH tahun 2004 adalah As pada sedimen yang tertinggi (663, 74 ppm) ditemukan tepat di ujung pipa pembuangan di Teluk Buyat. Konsentrasi Sb pada sedimen yang tertinggi ditemukan tepat di ujung pipa pembuangan di Teluk Buyat sebesar 583,13 ppm atau 100 kali lipat dibanding konsentrasi Sb tertinggi di Sungai Totok (5,37 ppm). Merkuri (Hg) pada sedimen yang tertinggi ditemukan pada 2 lokasi; yakni di mulut Sungai Totok (10,60 ppm) dan pada stasiun di ujung pipa tailing di Buyat (5,80 ppm). Penyebaran ketiga logam berat ini memiliki pola yang sama makin menjauh dari pembuangan tailing nilai makin rendah. Konsentrasi Hg pada perairan Teluk Buyat jauh lebih tinggi dibandingkan di Teluk.

Gambar 149
Penyebab dan
dampak yang terjadi
akibat pencemaran
laut (*Photo credit:*
[https://oceanpulse.
id/pencemaran-laut-
oleh-limbah-cair/](https://oceanpulse.id/pencemaran-laut-oleh-limbah-cair/))



Pestisida merupakan polutan yang mencemari perairan laut terutama berasal dari aliran sungai yang membawa limbah pertanian, dengan sifat sama dengan logam berat yaitu akumulatif. Pestisida dipergunakan untuk mengontrol biota yang tidak diinginkan atau hama tanaman, yang idealnya dapat membunuh biota yang tidak diinginkan tanpa merusak biota lainnya. Namun kenyataannya tidak demikian dengan sifat akumulatif dan dalam rantai makanan bersifat biakumulasi maka polutan pestisida akan mencemari lingkungan laut. Pestisida yang dipakai kebanyakan berasal dari suatu grup bahan kimia yang disebut Organochloride salah satunya DDT. Hewan biasanya menyimpan organochloride di dalam tubuh mereka. Beberapa organisme air termasuk ikan dan udang ternyata menumpuk bahan kimia didalam jaringan tubuhnya. Penumpukan pestisida dalam jaringan tubuh, bersifat racun dan dapat mempengaruhi sistem syaraf pusat. Bahan aktifnya selain bisa membunuh organisme perairan (ikan) juga dapat merubah tingkah laku ikan dan menghambat perkembangan telur moluska dan juga ikan. Daya racun berkisar dari rendah-tinggi. Moluska cenderung lebih toleran terhadap racun pestisida dibandingkan dengan krustasea dan teleostei (ikan bertulang sejati).

Sumber pestisida terbesar berasal dari daratan di mana jalur pergerakan pestisida sampai ke laut melalui darat, sungai, air tanah, dan atmosfer. Djajanto (1985) mengatakan bahwa 12 jenis pestisida yang dikategorikan 'extremely' atau 'highly' toksik bagi manusia maupun lingkungan oleh WHO (Organisasi Kesehatan Dunia), 8 jenis di antaranya dipasarkan di Indonesia, yaitu, HCH atau Lindane, Chlordane atau Heptachlor, DDT, Aldrin (Dieldrin



Gambar 150.
Jalur pergerakan
pestisida
(Photo credit:
Roy Bateman/
wikipedia.org)

dan Endrin), Paraquat, Parathion, EDB dan 2,4,5 T. Meningkatnya jenis dan volume penggunaan senyawa-senyawa kimia tersebut di Indonesia tidak lepas dari pencanangan program rehabilitasi perkebunan pada tahun 1960 (Djamin, 1983) dan program revolusi hijau (*'green revolution'*) melalui Panca Usaha Pertanian pada tahun 1970 oleh pemerintah (Anonim, 1987). Sehingga perlu dievaluasi kembali data tentang toksisitas pestisida dan dampaknya terhadap lingkungan.

Nilai total pestisida berkisar 0,332 – 0,39 ppm pada sedimen di delta Mahakam, Kalimantan Timur dengan dari 3- 4 jenis pestisida yang ditemukan dari 18 jenis pestisida tahun 2016 (Sapulete *et al.*, 2017). Sedimen Teluk Jakarta 223,74 ppb (Edward, 2011), sedimen di Teluk Klabat 50,005 ppb (Munawir, 2007). Dari beberapa penelitian di atas nilai kisaran pestisida di perairan laut terutama sedimen masih sesuai berdasarkan ketentuan *Ontario Ministry Of The Environment Screening Level Guidelines* sehingga dapat dinyatakan aman bagi organisme benthik dikarenakan masih tidak melebihi kisaran 10-1300 ppm.

9.2.3. Tumpahan Minyak

Aktivitas transportasi melalui lautan yang sangat tinggi menyebabkan adanya limbah organik seperti minyak yang akan mengotori lautan juga adanya pembuangan air ballast kapal. Limbah minyak ini jika dalam jumlah sedikit mampu di daur ulang oleh laut tetapi jika dalam keadaan berlebih mengakibatkan tertutupnya insang-insang pada ikan, biota sesile dan

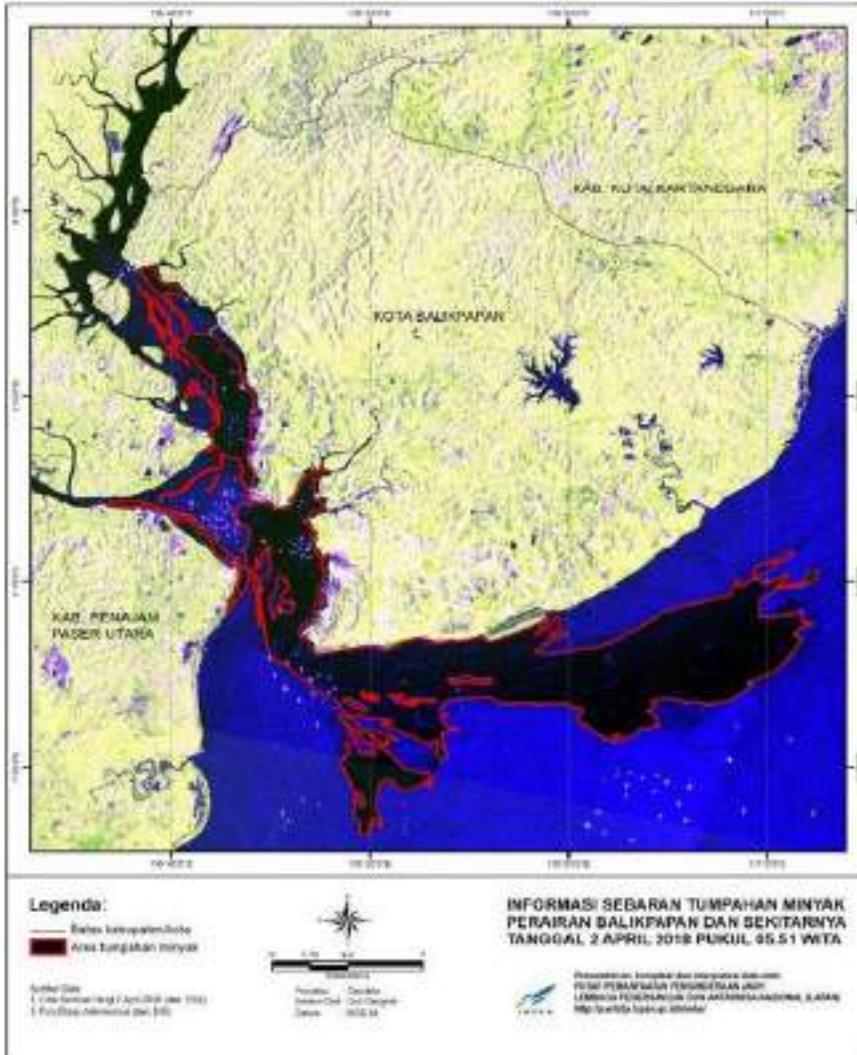
terhalangnya oksigen berdifusi dari udara ke laut. Apalagi jika terjadi tabrakan antar kapal atau kecelakaan pada kapal tanker yang dikenal dengan *oil spills* (tumpahan minyak). Akibat terjadinya tumpahan minyak akan meluas ke area di luar tumpahan minyak yang disebarkan oleh arus dan gelombang.

Selain itu aktivitas di laut seperti pengeboran minyak juga menjadi ancaman bagi sumberdaya laut. Pengeboran di laut lepas akan mengganggu ekosistem disekitarnya, terutama di ekosistem dasar pada saat pembangunan anjungan minyak. Minyak yang lepas di dasar perairan dan bocor di pipa pengeboran, limbah sanitasi, air buangan dalam pemisahan minyak dengan air, produk sampingan lainnya selama proses pengeboran akan mencemari kolom air yang akhirnya terjadi penurunan kualitas perairan yang akhirnya berdampak pada kelimpahan ikan.

Sumber terjadinya tumpahan minyak lainnya proses *docking* (perbaikan /perawatan kapal, terminal bongkar muat tengah laut, bilga dan tangki bahan bakar, *scrapping* kapal. Umumnya semua kapal memerlukan proses balas saat berlayar normal maupun saat cuaca buruk. Karena umumnya tangki *ballast* kapal digunakan untuk memuat kargo maka biasanya pihak kapal menggunakan juga tangki bahan bakar yang kosong untuk membawa air ballast tambahan. Saat cuaca buruk maka air balas tersebut dipompakan ke laut sementara air tersebut sudah bercampur dengan minyak. Selain air balas, juga dipompakan keluar adalah air bilga yang juga bercampur dengan minyak. Bilga adalah saluran buangan air, minyak, dan pelumas hasil proses mesin yang merupakan limbah. Aturan Internasional mengatur bahwa buangan air bilga sebelum dipompakan ke laut harus masuk terlebih dahulu ke dalam separator, pemisah minyak dan air, namun pada kenyataannya banyak buangan bilga ilegal yang tidak memenuhi aturan Internasional dibuang ke laut (Sudrajad, 2007).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak bumi dan merupakan jalur pelayaran internasional sehingga pencemaran limbah minyak cukup sering terjadi (Tabel 20). Kasus yang terakhir yang cukup besar adalah tumpahan minyak yang terjadi di Balikpapan 31 Maret 2018 akibat patahnya pipa pertamina yang diduga terkena jangkar kapal. Kejadian ini diperkirakan 1,26 juta galon minyak tumpah mencemari perairan Balikpapan seluas 12.987,2 ha berdasarkan satelit Sentinel 1A yang diakuasisi tanggal 2 April 2018 oleh LAPAN (Gambar 151, Bisnis Tempo, 2018). Kasus terakhir adalah adanya kebocoran gas di Blok ONWJ daerah Karawang pada tanggal 12 Juli 2019 yang menimbulkan gelembung besar dan menyemburkan minyak yang mencemari 8 desa di kabupaten Karawang (Gambar 152).

Kasus tumpahan minyak Showa Maru tahun 1975 merupakan salah satu contoh kasus menarik di mana legislasi hukum baik internasional maupun nasional masih minim. Kasus ini terjadi pada bulan Januari 1975 kapal tanker Showa Maru, yang membawa minyak mentah dari Teluk Persia menuju Jepang, kandas membentur karang sehingga dasar kapal sobek sepanjang 160



Gambar 151. Sebaran tumpahan minyak di Balikpapan tahun 2018 (Photo credit: LAPAN, 2018)



Gambar 152. Tumpahan minyak di pantai utara Jawa, Kabupaten Karawang akibat kebocoran pipa gas Pertamina Blok ONWJ tanggal 12 Juli 2019 (Photo credit: Setiawan, 2019)

Tabel 20.
Beberapa
Kasus
Tumpahan
Minyak di
Perairan
Indonesia

No	Tahun	Lokasi	Keterangan
1	1975	Selat Malaka	Kandasnya kapal tanker Showa Maru yang menumpahkan minyak sebesar 1 juta barel minyak solar
2	Januari 1975	Selat Malaka	Tabrakan kapal Isugawa Maru dengan Silver Palace
3	Desember 1979	Pelabuhan Buleleng Bali	Kecelakaan kapal tanker Choya Maru pada Desember menumpahkan 300 ton bensin.
4	Februari 1979	Pelabuhan Lhokseumawe	Bocornya kapal tanker Golden Win yang mengangkut 1500 kilo liter minyak tanah
5	September 1992	Selat malaka	Tabrakan kapal tanker Ocean Blessing dan MT Nagasaki Spirit yang menumpahkan 13000 ton minyak
6	Januari 1993	Selat malaka	Kandasnya Kapal Tanker Maersk Navigator
7	1995	Pelabuhan Cilacap	Tabrakan kapal tanker MV Bandar Ayu dengan Kapal Ikan Tanjung Permata III
8	1996	Natuna	Tenggelamnya KM Batamas II yang memuat MFO
9	Oktober 1997	Selat Singapura	Kapal Orapin Global bertabrakan dengan kapal tanker Evoikos
10	1998	Tanjung Priok	Kandasnya kapal Pertamina Supply No 27 yang memuat solar
11	1999-2000	Cilacap	Robeknya kapal tanker MT King Fisher dengan menumpahkan sekitar 4000 barel
12	Oktober 2000	Batam	Kandasnya MT Natuna Sea dan menumpahkan 4000 ton minyak mentah
13	2001	Tegal-Cirebon	Tenggelamnya tanker Stedfast yang mengangkut 1200 ton limbah minyak
14	2003-2005	Kepulauan Seribu	Tergenangnya tumpahan minyak di perairan Kepulauan Seribu
15	Juli 2003	Palembang	Tabrakan antara tongkang PLTU-I/PLN yang mengangkut 363 kiloliter IDF dengan kapal kargo An Giang. Menyebabkan sungai Musi di sekitar kota Palembang tercemar
16	Juli 2004	Kepulauan Riau	Kapal tanker Vista Marine tenggelam akibat cuaca buruk dan menumpahkan limbah minyak dalam tangki slop sebanyak 200 ton

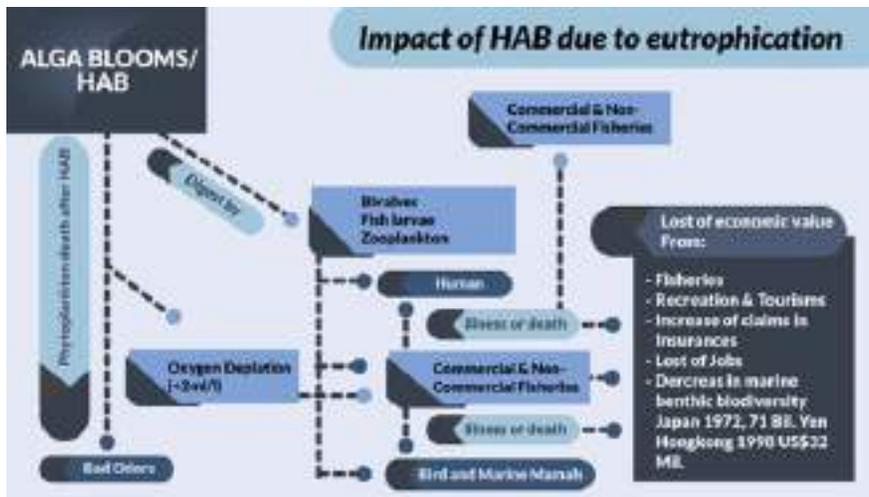
No	Tahun	Lokasi	Keterangan
17	September 2004	Cilacap	Tumpahan Minyak oleh MT Lucky Lady yang memuat Syria Crude Oil sebanyak 625044 barel. Volume minyak yang tumpah ke perairan adalah sekitar 8000 barel dan menyebar 5 km sepanjang pantai
18	Oktober 2004	Pantai Indramayu	Tumpahan Minyak mentah dari Pertamina UP VI Balongan, tumpahan ini merusak terumbu karang tempat pengasuhan ikan-ikan milik masyarakat sekitar
19	2004	Balikipapan	Tumpahan minyak dari Perusahaan Total E dan P Indonesia, membuat nelayan sekitar tidak dapat melaut dalam beberapa waktu
20	Agustus 2005	Teluk ambon	Meledaknya kapal ikan MV Fu Yuan Fu F66 yang menyebabkan tumpahnya minyak ke perairan
21	September 2008	Indramayu	Kapal Tangker Areal menumpahkan minyak mentah dengan besar volumenya 150 ribu ton. Nilai kerugiannya mencapai 282 juta euro
22	21 Agustus 2009	Laut Timor	Ledakan ladang minyak 21 Agustus 2009 silam diMontara Well Head Platform, Blok West Atlas yang terletak di perbatasan Indonesia-Australia. Kebocoran itu terjadi selama 74 hari
23	2010	Selat Malaka	MT Bunga Kelana 3, St. Vincents vs MV Wally 2500 ton minyak tumpah
24	2014	Selat Malaka	Tabrakan Lime Galaxy vs Feihe 760 ton minyak tumpah di perairan ini
25	2015	Selat Malaka	Di wilayah Selat Malaka. Tumpahan minyak yang disebabkan oleh tabrakan yang terjadi antara kapal MT Alyarmouk dari Libya dengan kapal MV Sinar Kapuas yang merupakan milik pemerintahan Singapura.
26	2017	Selat Malaka	Tabrakan Tanker Wan Hai 301 vs MT APL Denver, 300 ton minyak tumpah
27	31 Maret 2018	Teluk Balik Papan	Akibat patahnya pipa Pertamina yang di duga terkena jangkar kapal
28	12 Juli 2019	Pantai utara Jawa	Kebocoran gas dan minyak di blok ONWJ

meter dan menumpahkan minyak 7300 ton di Selat Malaka. Saat itu pemerintah Indonesia segera mengambil langkah cepat dengan membentuk 3 Satuan Tugas di bawah koordinasi tiga menteri, yaitu Menteri Perhubungan menangani segi teknis operasional, Menristek menangani urusan penelitian dan Menteri Kehakiman mempersiapkan perangkat hukum dan ganti ruginya. Ganti rugi diberikan pihak pemilik kapal namun belum memperhitungkan ganti rugi jangka panjang seperti kerusakan ekosistem.

Kasus yang terakhir di Balikpapan 31 Maret 2018 dan Karawang 12 Juli 2019, dengan sistem hukum yang sudah cukup kuat sehingga persoalan ganti rugi dapat diatasi dan cukup cepat respon dari Pertamina. Namun semua ini tidak dengan semerta mengganti kerusakan ekosistem cepat pulih kembali. Diketahui bahwa kelengkapan peralatan dalam sistem pengeboran transportasi minyak perlu dikontrol dan diperbaharui secara berkala.

9.2.4. Eutrofikasi (Marak alga/*Harmful Algae Blooming* (HAB) dan *hypoksia*)

Limbah yang terbawa oleh sungai dari daratan yang merupakan hasil dari kegiatan manusia akan menyebabkan bertambah tingginya nutrient yang ada di perairan laut atau adanya pengayaan nutrien (*eutrofikasi*) terutama dari bahan organik. Nutrien merupakan senyawa kimia yang dibutuhkan untuk pertumbuhan oleh *autotrof* terutama fitoplankton/alga. Keberadaan nutrien yang berlebih akan menyebabkan 'marak alga' yang merupakan terjemahan dari *Harmfull Algae Blooming* (HAB) akibat pertumbuhan yang sangat pesat dari fitoplankton tersebut, yang pada akhirnya akan menyebabkan ledakan populasi zooplankton. Ancaman dari fenomena ini adalah marak alga akan membawa racun yang sangat tinggi dan lendir yang menyebabkan kematian ikan, umumnya menutupi insang.



Gambar 153. Alur dampak yang ditimbulkan marak/ledakan alga akibat eutrofikasi. Sumber: diadopsi dari laporan Wouthuyzen (2007) (Sumber: <https://www.greeners.co/berita/mari-kenali-eutrofikasi-tengah-mengancam-teluk-jakarta/2/>)

Selain itu marak alga akan menutup luasan area tertentu yang menyebabkan laut menjadi merah dan menyebabkan kondisi berkurangnya bahkan ketiadaan oksigen yang akibatnya biota yang hidup di bawah tutupan area tersebut akan mati massal. Walaupun dalam rentang waktu tertentu akhirnya fenomena ini hilang tetapi dampaknya menyebabkan kematian sejumlah besar ikan dan biota lainnya serta bau dan keindahan perairan menurun. Dampak lainnya adalah adanya kemungkinan ikan yang teracun dan masuk dalam rantai makanan akan menyebabkan terjadi bioakumulasi (jenis *dinoflagelata* dan *cyanobakteri*) serta dapat menyebabkan kerusakan fisik bagi biota laut seperti menempelnya diatom pada insang ikan yang akhirnya mengganggu keseimbangan metabolisme ikan dapat menyebabkan kematian pada ikan tersebut (Hooper, 2009).

Contoh kasus di Indonesia akibat adanya eutrofikasi dan kemungkinan adanya *invasive aliens* terjadi di teluk Lampung tahun 2012, di mana terjadi pasang merah di Teluk Lampung dan kematian masal ikan terutama yang di keramba jaring apung masyarakat. Hal ini disebabkan adanya pengayaan nutrisi dengan rasio N:P 35,5 yang menyebabkan plankton jenis *Chlochodium* sp (yang biasa ada di Teluk Persia) “meledak” menyebabkan pasang merah (Puspasari *et al.*, 2018).

9.3. Jenis Bahan Pencemar (Polutan)

Bahan pencemar di perairan dapat diklasifikasikan berdasarkan daya urainya. Klasifikasi bahan pencemar pada perairan laut dapat dibagi atas dua jenis yakni:

- a. Senyawa-senyawa konservatif, yang merupakan senyawa-senyawa yang dapat bertahan lama di dalam suatu badan perairan sebelum akhirnya mengendap ataupun terabsorpsi oleh adanya berbagai reaksi fisik dan kimia perairan. Contohnya adalah logam-logam berat, pestisida, deterjen, dan lain-lain.
- b. Senyawa-senyawa non-konservatif, yang merupakan senyawa yang mudah terurai dan berubah bentuk di dalam suatu badan perairan. Contohnya adalah senyawa-senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang mudah terlarut menjadi zat-zat anorganik oleh mikroba.

Menurut Mukhtasor (2007), jika ditinjau dari sumbernya maka bahan pencemar perairan laut dapat digolongkan atas:

- a. Bahan pencemar yang bersifat kimiawi, yang terdiri atas bahan pencemar yang bersifat anorganik. Contohnya adalah asam, alkali dan logam-logam berat.

- b. Bahan pencemar yang bersifat organik, contohnya adalah pestisida, pupuk, minyak, limbah dari pabrik makanan dan minuman.
- c. Bahan pencemar yang bersifat biologis; bahan pencemar yang bersifat biologis disebabkan oleh mikroorganisme tanah, sampah domestik, sampah yang berasal dari industri pengolahan makanan kaleng serta sampah dan limbah peternakan.
- d. Bahan pencemar yang bersifat fisik; sumber bahan pencemar yang bersifat fisik meliputi: erosi dan sedimentasinya, limbah cair panas dari industri listrik (PLTU/PLTD), kapal laut, pabrik tekstil atau cat yang mengubah warna perairan serta limbah organik yang telah membusuk yang menimbulkan bau.

Sumber bahan pencemar

Berdasarkan proses masuknya polutan terbagi dua yaitu:

1. Alami, masuknya polutan secara alami berupa kerusakan yang disebabkan bencana alam seperti adanya gunung meletus, gempa, badai dan tsunami.
2. Kegiatan manusia (*anthropogenic*), secara anthropogenic merupakan akibat kegiatan manusia yang dibagi lagi atas:
 - a. Kegiatan manusia di darat (*land based pollution*), contohnya adalah limbah air pendingin PLTU (limbah air panas), limbah rumah tangga/domestik, *sewage*, limbah terikut sungai, limbah organik dan anorganik, saluran pembuangan pabrik, limbah dari deposisi cerobong asap. Limbah-limbah ini baik industri maupun domestik pada akhirnya akan terbawa oleh sungai menuju laut yang sebelumnya akan masuk dahulu di daerah estuaria atau muara sungai baru ke laut.
 - b. kegiatan manusia di laut (*marine based pollution*), contohnya adalah lalu lintas pelayaran, anjungan minyak, reklamasi pantai.

Berdasarkan proses penyebarannya polutan setelah masuk ke dalam laut terbagi atas proses:

1. *Fisika*, yaitu proses pengenceran, sedimentasi, transportasi baik oleh arus, difusi, atau turbulen
2. *Kimia*, yaitu proses reaksi dengan zat lain yang dapat menjadi lebih bersifat racun jika terjadi saling menguatkan toksisitas (aditif dan sinergis) atau menjadi berkurang atau hilang sama sekali sifat racunnya (antagonis)
3. *Biologi*, proses yang masuk ketubuh makhluk hidup biasanya dalam rantai dan jejaring makanan

Berdasarkan lokasi sumbernya, pencemaran pesisir dan laut dapat bersumber dari sumber laut (*marine based pollution*) atau dapat juga bersumber dari daratan (*land based pollution*). Pencemaran di pesisir sekitar 70 persen bersumber dari daratan (*land based pollution*) (UNEP, 2007). Sumber limbah dari kegiatan di darat terutama dari kegiatan rumah tangga dan pertanian yang sebagian besar mengandung bahan organik.

Berdasarkan sebaran sumber masuknya polutan ke dalam kawasan pesisir dan laut sumber pencemar dibagi atas:

1. *Point source* yaitu sumber pencemar yang dapat diketahui dengan jelas lokasinya, misalnya pabrik/industri, tumpahan minyak akibat kecelakaan kapal tanker
2. *Non point source* yaitu sumber pencemar yang tidak terlokalisir secara definitive, misalnya limbah domestik, lahan pertanian yang terbawa dari sungai yang sukar ditelusuri asalnya polutan tersebut.

Selain itu sebaran sumber pencemar yang tidak kalah pentingnya adalah air *ballast* yang dibuang kapal terutama di perairan internasional, sumber ini terkadang tidak terdeteksi yang dapat masuk dalam kedua kategori.

9.4. Parameter Lingkungan

Lingkungan laut yang begitu beragam dan kompleks sangat penting untuk dipahami karena merupakan lingkungan tempat hidup dari biota laut yang pada akhirnya akan bermanfaat pada manusia. Lingkungan laut pada ekosistem lamun dengan banyaknya manfaat yang digunakan oleh biota lain dan makin tinggi aktifitas manusia di daratan yang dapat merusak ekosistem lamun perlu dipahami dan dipelajari dengan baik sehingga dampaknya dapat diminimalisir bahkan dicegah. Diketahui akhir-akhir ini isu perubahan iklim dan pemanasan global semakin meningkat sehingga perlu adanya pemahaman lingkungan laut yang benar terkait dengan isu tersebut agar dapat dilakukan suatu upaya dalam memperbaiki dan atau mempertahankan lingkungan laut agar tetap dapat dimanfaatkan dan berkelanjutan.

Parameter lingkungan perairan akan mempengaruhi keberadaan polutan. Parameter lingkungan perairan dapat dibagi lagi menjadi parameter lingkungan fisika dan kimia.

A. Parameter lingkungan fisika

Parameter lingkungan fisika yaitu:

1. Sifat Air

Berbicara laut tidak terlepas dan sangat penting membicarakan sifat-sifat air yang khas, yaitu baik dari komposisi dan sifat fisika kimia dari

air. Air terdiri dari persenyawaan kimia yang sangat sederhana yaitu dua atom hidrogen yang berikatan dengan satu atom oksigen dinamakan ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen yang membuat senyawa air mudah terlepas dan mudah terbentuk kembali, sehingga keberadaan air dalam waktu yang bersamaan bisa dalam tiga wujud yaitu gas, cair dan padat. Sifat air dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 21.
Beberapa Sifat
Air (Nybakken,
1992)

Sifat	Dibandingkan zat lain
Tegangan permukaan	Paling tinggi dari semua zat cair pada umumnya
Penghantaran panas	Paling tinggi dari semua zat cair umumnya, kecuali air raksa
Panas laten penguapan: Jumlah pertambahan atau kehilangan panas persatuan massa oleh perubahan zat dari fase padat ke gas atau dari gas ke padat tanpa disertai kenaikan suhu (kal/g)	Paling tinggi dari semua zat pada umumnya
Panas laten peleburan: Pertambahan atau kehilangan panas per satuan massa oleh perubahan zat dari fase padat ke fase cair atau cair ke padat tanpa disertai kenaikan suhu (kal/g)	Paling tinggi dari semua zat cair pada umumnya dan sebagian besar zat padat
Kapasitas panas: Jumlah kebutuhan panas untuk menaikkan suhu 1 g zat 1 °C (kal/g/°C)	Paling tinggi dari semua zat padat dan zat cair pada umumnya
Kerapatan: massa persatuan volume (g/cm ³ atau g/ml)	Berat jenis ditentukan oleh 1) suhu, 2) salinitas, 3) tekanan Berat jenis maksimum air murni adalah pada suhu 4 °C. Untuk air laut, titik beku menurun dengan meningkatnya salinitas.
Kemampuan melarutkan	Melarutkan banyak zat dalam jumlah lebih besar daripada zat cair lain pada umumnya.

2. Pergerakan Air

- **Arus**

Arus merupakan pergerakan massa air dari satu laut/samudra ke laut/samudra lainnya. Arus ini dapat digerakkan oleh angin seperti yang umumnya terjadi pada arus permukaan atau bergerak berdasarkan perbedaan suhu, salinitas dan densitas pada bagian dalam kolom air yang bergerak secara horisontal maupun vertikal. Pergerakan arus yang vertikal dikenal dengan *upwelling* dan *downwelling*. *Upwelling* yaitu pergerakan massa air dari bawah laut naik ke permukaan dan sebaliknya disebut dengan *downwelling*, Bergeraknya/tenggelamnya massa air dipermukaan ke bawah laut.



Gambar 154. Sabuk arus global dunia (Photo credit: Chamberlain, 2009)

Arus ini merupakan salah satu lingkungan laut yang penting bagi biota laut dikarenakan dengan adanya arus ini akan terjadi perpindahan massa air yang membawa zat hara yang dibutuhkan biota ataupun sebagai penggerak bagi biota (misalnya plankton). Arus - arus di seluruh lautan saling berhubungan yang dikenal dengan *Great Ocean Conveyor Belt* (Gambar 154). Sabuk arus global dunia menyebabkan adanya pertukaran massa air dari daerah yang dingin (subtropis dan kutub) ke daerah yang hangat selain membawa nutrisi dapat menyebabkan terjadinya arus vertikal juga terjadinya pertukaran suhu yang menjaga kestabilan suhu di lautan.

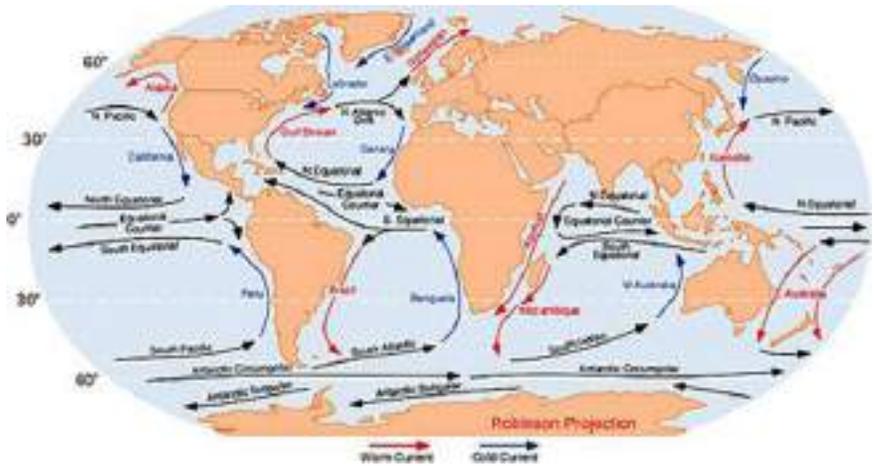
Beberapa arus di dunia yang penting antara lain Arus Norwegia membawa massa air hangat di S. Arktik; Arus Labrador membawa massa air dingin, Arus Teluk membawa massa air hangat di S. Atlantik; Arus Oyashio membawa massa air dingin, Arus Kuroshio membawa massa air hangat di S. Pasifik (Gambar 154); Arus Lintas Indonesia (Gambar 155), Arus Mozambique di S. Hindia dan Arus Kutub Antartik di S. Antartika (Gambar 156).

Pemodelan distribusi polutan (sampah laut) dalam hal ini memperhitungkan pergerakan arus dan sumber polutan. Pemodelan sebaran dilakukan pada mikro plastik dari 4 ukuran yang terlihat hasil pemodelan berdasarkan jumlah persatuan luas (km^2) tinggi pada dua ukuran terendah yang menyebar hampir di seluruh perairan diterbawa oleh arus global (Gambar 156) ((Eriksen, *et al.*, 2014).

Gambar 155.
Arus lintas
Indonesia
(Photo credit:
PRWLSNH,
2005)



Gambar 156.
Arus-arus di
dunia (Photo
credit: [http://
marinebio.org/
Currents](http://marinebio.org/Currents))



- **Pasang Surut (Pasut)**

Pasang surut merupakan pergerakan massa air dalam 24 jam yang disebabkan oleh adanya gaya gravitasi terutama gaya gravitasi bulan. Akibat dari pasang surut ini sangat berpengaruh pada kehidupan biota terutama yang berada di pantai. Bumi berputar pada porosnya dalam 24 jam, maka pasang surut yang dapat terjadi bisa dua kali pasang dan dua kali surut, tetapi hal ini berbeda-beda karena banyak faktor yang mempengaruhi antara lain; perilaku gerakan air, kecondongan dan jarak yang berubah-ubah matahari dan bulan dengan bumi, angin dan perbedaan tinggi rendahnya paras laut (amplitude). Pasang surut (pasut) yang terjadi di Indonesia ada

empat jenis pasut yaitu: 1) semidiurnal, dua kali pasang dan dua kali surut dalam 24 jam; 2) diurnal, satu kali pasang dan satu kali surut dalam 24 jam; 3) campuran keduanya dengan jenis ganda / semidiurnal dominant dan 4) campuran keduanya dengan jenis tunggal/diurnal dominant (Romimohtarto dan Juwana, 2009).

- **Gelombang**

Gelombang sebagian ditimbulkan oleh dorongan angin di atas permukaan laut dan sebagian lagi disebabkan oleh tekanan tangensial pada permukaan air. Gelombang dapat juga disebabkan oleh faktor selain angin seperti gempa di dasar laut yang dapat menyebabkan gelombang pasang bahkan tsunami, gelombang yang terjadi di perairan laut dalam akibat adanya dua lapisan air yang berbeda densitasnya disebut gelombang dalam (*internal wave*).

3. Suhu

Suhu merupakan faktor lingkungan laut sangat penting bagi biota laut. Keberadaan suhu dan salinitas di berbagai lautan/samudra dapat menentukan jenis massa air tersebut berasal dari lautan/samudra mana. Sebaran suhu di seluruh lautan tergantung dengan lintang sehingga ada daerah tropis, subtropis dan kutub, yang menyebabkan arus yang membawa massa air dari samudra tersebut beredar terdiri dari arus hangat yang membawa massa air dengan suhu lebih tinggi dari daerah tropis dan arus dingin yang membawa massa air yang dingin dari daerah subtropis dan kutub. Akibat dari suhu ini ada biota laut tertentu yang hidup di daerah tertentu melakukan adaptasi, seperti penguin, anjing laut di daerah kutub beradaptasi terhadap suhu dibawah 0°C, beberapa jenis alga biru hijau dapat beradaptasi sampai pada suhu 85 °C di musim panas (Sumich, 1992).

4. Cahaya

Cahaya dalam lingkungan laut sangat berpengaruh pada proses fotosintesis yang dilakukan produser di laut seperti plankton, alga dan lamun. Selain itu cahaya juga penting dalam proses migrasi biota laut seperti plankton.

B. Parameter Lingkungan kimia

Parameter lingkungan kimia mencakup;

1. Salinitas

Perbedaan air laut dan air tawar adalah kandungan mineral garamnya di mana garam-garam di laut berasal dari laut itu sendiri menurut teori berdasarkan proses *outgasing* dari kulit bumi di dasar lautan yang keluar berbentuk gas ke permukaan dasar laut bersamaan dengan gas-gas tersebut juga terkikis lapisan kerak bumi dan garam-garam bersama

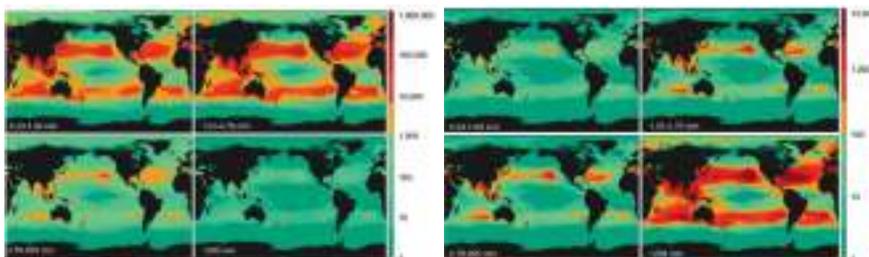
dengan air dalam komposisi tetap. Komposisi garam di laut 99,7 persen terdiri dari Cl, Na, SO₄ (sulfat) dan Mg (Romimoharto dan Juwana, 2009).

2. Gas-gas terlarut

Gas-gas terlarut yang terutama di lautan adalah oksigen (O), nitrogen (N), fosfor (P), belerang/sulfur (S) dan karbon (C) berperan dalam siklus biogeokimia yang terkait erat dengan sumber nutrient bagi produser untuk pertumbuhan (N dan P) serta sebagai bahan pembentukan sumber makanan/energi melalui fotosintesis (C). Selain itu karbon berperan penting dalam pembentukan cangkang berbagai hewan bercangkang atau terumbu karang (CaCO₃). Oksigen dibutuhkan oleh semua biota yang ada di laut. Gas-gas terlarut juga terkait erat dengan fungsinya sebagai *buffer* pH di lautan sehingga pH di lautan stabil dengan kisaran 7,4 – 8,4 atau 7,4 - 8,5 (Nybakken,1992; Sumich, 1992)

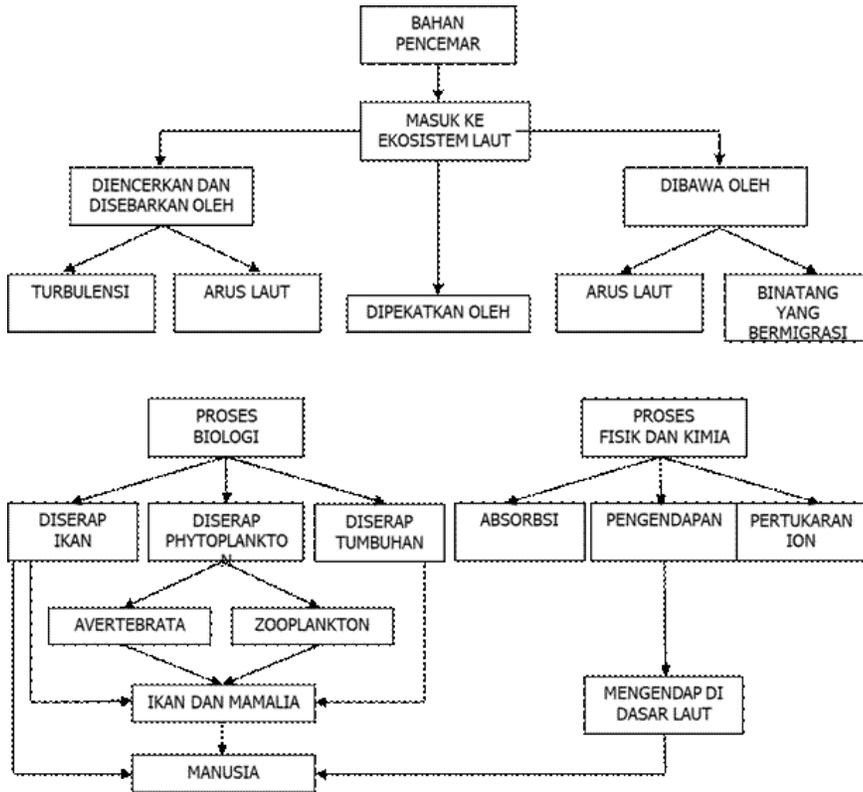
9.5 Dinamika dan Transportasi Polutan di Laut

Dinamika bahan pencemar yang masuk ke dalam ekosistem laut dapat diencerkan dan disebarakan ke seluruh wilayah laut melalui adukan turbulensi dan arus laut. Untuk wilayah-wilayah laut yang luas dan terbuka dengan pola arus dan oirbulensi yang aktif, bahan-bahan pencemar akan terurai dan terbuang ke perairan laut yang lebih luas sehingga dapat meminimalkan konsentrasi akumulasinya dalam suatu badan perairan. Akan tetapi pada wilayah-wilayah laut yang sempit dan tertutup, bahan pencemar akan mudah sekali terakumulasi di dalam suatu badan perairan Lebih lanjut dijelaskan bahwa sebagian lagi dari bahan pencemar tersebut akan terbawa oleh arus laut atau biota yang sementara melakukan migrasi/ruaya ke wilayah laut lainnya, dan akan lebih menguntungkan apabila terbawa ke perairan laut terbuka.



Gambar 157.
Sebaran
mikroplastik
partikel per km²
(Photo credit:
UNEP, 2015)

Sedangkan sebagian lagi yang tidak diencerkan dan disebarakan serta terbawa ke wilayah-wilayah laut yang luas dan terbuka, akan dipekatkan melalui proses biologi, fisik dan kimiawi, di mana dalam proses biologi, bahan pencemar biasanya diserap oleh organisme laut seperti ikan, fitoplankton maupun tumbuhan laut kemudian diserap lagi oleh plankton



Gambar 158. Proses masuknya bahan pencemar ke dalam ekosistem (Sumber: Supriharyono, 2009)

hewani kemudian akan berpindah ke tingkat-tingkat tropik selanjutnya seperti avertebrata dan zooplankton dan kemudian ke ikan dan mamalia. Sedangkan dalam proses fisik dan kimiawi, bahan pencemar akan diabsorpsi, diendapkan dan melakukan proses pertukaran ion. Proses masuknya bahan pencemar ke dalam ekosistem dapat dilihat pada Gambar 158.

Sedangkan sebagian lagi yang tidak diencerkan dan disebar serta terbawa ke wilayah-wilayah laut yang luas dan terbuka, akan dipekatkan melalui proses biologi, fisik dan kimiawi, di mana dalam proses biologi, bahan pencemar biasanya diserap oleh organisme laut seperti ikan, fitoplankton maupun tumbuhan laut kemudian diserap lagi oleh plankton hewani kemudian akan berpindah ke tingkat-tingkat tropik selanjutnya seperti avertebrata dan zooplankton dan kemudian ke ikan dan mamalia. Sedangkan dalam proses fisik dan kimiawi, bahan pencemar akan diabsorpsi, diendapkan dan melakukan proses pertukaran ion.

Distribusi bahan pencemar ini dapat dikatakan tersimpan dalam lima kompartemen, yaitu pesisir pantai, permukaan laut, kolom air, dasar laut dan biota (GESAMP, 2016). Di mana dalam setiap kompartemen tersebut terjadi proses-proses fisik, biologi maupun kimia (Gambar 159).

Gambar 159.
Kompartmenten
keberadaan bahan
pencemar di laut
(Sumber: modifikasi
GESAMP, 2016)

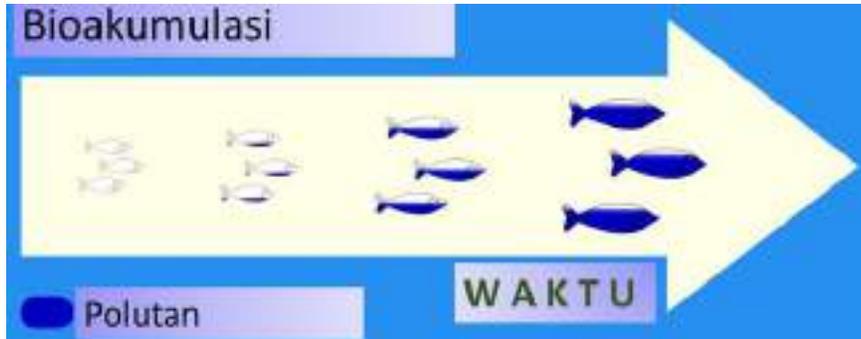


Bahan pencemar di dalam perairan akan mengalami proses-proses yang menyebabkan keberadaan bahan pencemar menjadi dinamis. Proses tersebut antara lain difusi, akan menyebabkan bahan pencemar berpindah dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Selanjutnya proses adveksi di mana bahan pencemar menyebar secara horisontal karena perbedaan tekanan dalam hal ini bisa arus sebagai penyebabnya. Bahan pencemarpun bisa mengalami geseran (*shear*) antara sesama bahan pencemar, dan atau terurai/terikat menjadi molekul/senyawa lain. Pada akhirnya bahan pencemar yang terdispersi dapat mengalami penguapan ke atmosfer atau sebaliknya di atmosfer dapat terlarut di badan air. Kemudian dengan proses oksidasi menjadi senyawa yang mengandung oksigen yang dapat menjadi berbahaya atau tidak, atau sebaliknya terjadi reduksi ataupun bereaksi secara kimia misal karena cahaya.

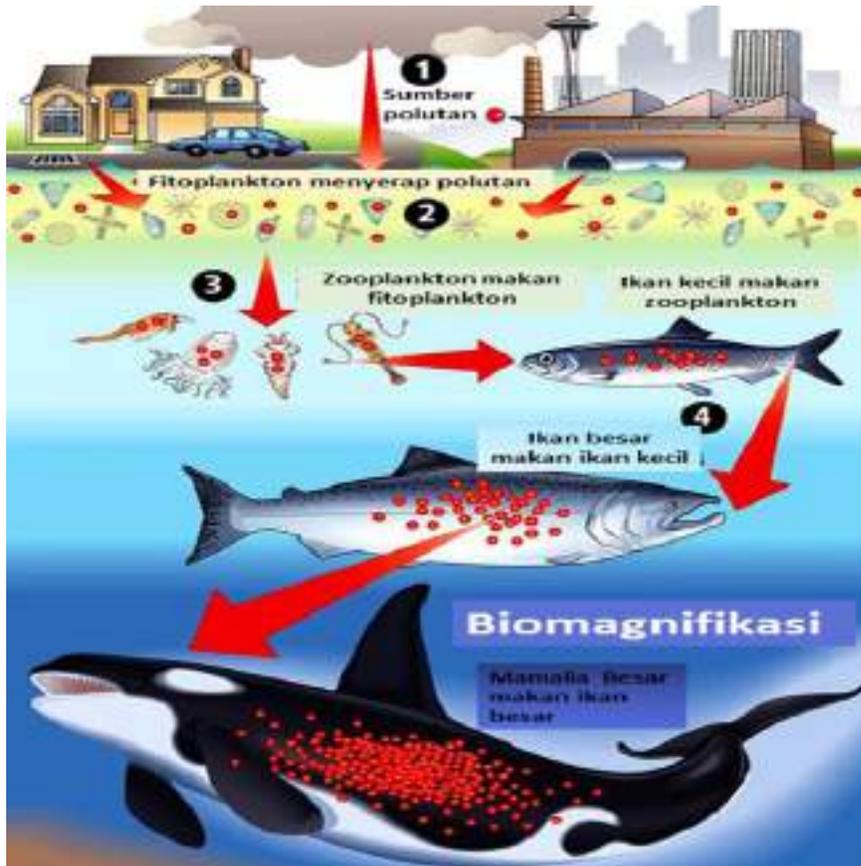
9.5.1 Interaksi polutan

Interaksi polutan di dalam lingkungannya akan mempengaruhi besaran konsentrasi polutan terutama dalam rantai makanan. Bioakumulasi mengacu pada bagaimana suatu polutan memasuki rantai makanan sedangkan biomagnifikasi mengacu pada kecenderungan polutan untuk terkonsentrasi dan berpindah dari satu tingkat trofik ke tingkat berikutnya. Senyawa polutan penyebab biomagnifikasi umumnya bersifat *mobile* (mudah berpindah), *long-lived* (berumur panjang), larut lemak dan bersifat aktif secara biologis (MADER, 1996). Jika polutan berumur pendek maka polutan akan dipecah sebelum menjadi berbahaya; jika polutan tidak *mobile*, maka polutan akan menetap di satu tempat dan organisme yang terpengaruh hanya dalam kisaran geografi sempit; jika polutan larut dalam badan air maka polutan akan menyebar luas sesuai pergerakan air dan mengalami proses-proses fisik dan kimia.

Bioakumulasi adalah penimbunan substansi di dalam tubuh suatu organisme. Bioakumulasi terjadi ketika suatu substansi diserap oleh tubuh organisme dengan laju yang lebih cepat daripada pengeluaran substansi tersebut lewat proses katabolisme dan ekskresi. Semakin panjang waktu paruh biologis suatu substansi, maka semakin besar risiko keracunan yang dihadapi, bahkan jika konsentrasi racun tersebut tidak terlalu tinggi. Proses bioakumulasi senyawa kimia dalam tubuh organisme melalui berbagai cara yang dimungkinkan seperti kontak langsung, respirasi, makanan, dan lain-lain.



Gambar 160.
Bioakumulasi yang terjadi di laut
(Sumber: modifikasi <https://cimioutdoored.org/bioaccumulation/>)



Gambar 161.
Biomagnifikasi dalam suatu rantai makanan di laut
(Photo credit: modifikasi <https://cimioutdoored.org/bioaccumulation/>)

- ❖ **Biomagnifikasi** (disebut juga **bioamplifikasi**): akumulasi bahan pencemar melalui rantai makanan. Pada proses ini, senyawa kimia melewati tropik dan konsentrasi bahan pencemar tertinggi terjadi pada konsumen puncak pada rantai makanan tersebut.
- ❖ **Biodilusi**: proses kebalikan biomagnifikasi, di mana konsentrasi polutan semakin kecil dengan meningkatnya tropik dalam rantai makanan.
- ❖ **Biokonsentrasi** adalah akumulasi zat yang di serap dari ekosistem air pada tubuh organisme akibat laju ekskresi lebih rendah dari asupan.

9.5.2 Faktor yang Mempengaruhi Distribusi Polutan (Musim, Arus, Pasang Surut, Gelombang dan Geomorfologi)

Setelah memahami apa itu perairan laut dengan pembagiannya, apa itu polutan jenis, sumber, parameter lingkungan dan dinamika serta interaksinya maka dalam bagian ini akan di bahas sebaran atau distribusi polutan di perairan laut. Semua yang dipaparkan di atas mempengaruhi distribusi polutan/bahan pencemar di laut yang dapat tersimpan dan berpindah dalam lima kompartemen (Gambar 159). Faktor-faktor yang juga mempengaruhi distribusinya adalah musim, arus, pasang surut, gelombang dan geomorfologi laut. Terkadang keberadaan bahan pencemar dalam suatu waktu menumpuk di suatu tempat pada waktu tertentu (musim).

Indonesia berada di daerah equator memiliki dua musim berdasarkan monsoon. Dua moonson ini akan mempengaruhi pergerakan arus sehingga adakalanya sampah laut/polutan menumpuk di satu sisi pulau adakalanya tidak ada sama sekali. Selain itu keberadaan indonesia yang strategis diapit dua samudra dan merupakan perairan untuk mempelajari iklim global. Seperti yang diketahui bahwa indonesia berada diantara dua samudra maka keberadaan polutan diantara dua samudra dapat melintasi dan terdampar, begitu juga sebaliknya sumber polutan dari Indonesia dapat terdampar di bagian negara lain, karena pergerakan arus yang terhubung dalam sabuk gobal arus dunia yang terkumpul dan berpindah antara lima kompartemen bahan pencemar (Gambar 154, 156, dan 159).

Distribusi yang umumnya terjadi secara lokal dipengaruhi oleh proses fisik pasang surut. Seperti dijelaskan, pemindahan bahan pencemar antara pantai dan permukaan laut yang lebih berperan adalah pasang surut. Distribusi sampah akibat gelombang sangat jelas terlihat pada musim tertentu karena umumnya gelombang digerakkan oleh faktor eksternal yaitu angin sehingga pergerakan sampah yang melayang atau terapung terlihat jelas berpindah. Selain itu geomorfologi laut pun akan mempengaruhi distribusi polutan, di mana pada laut dangkal maka bahan pencemar akan lebih mudah terendapkan ke dasar dibandingkan laut dalam akan mengalami berbagai proses sebelum tersimpan di dasar sehingga keberadaan bahan pencemar bisa tidak seperti semula namun telah berubah baik wujud maupun konsentrasi karena berbagai proses fisika, kimia dan biologi yang dialami.

9.6 Dampak Pencemaran Laut

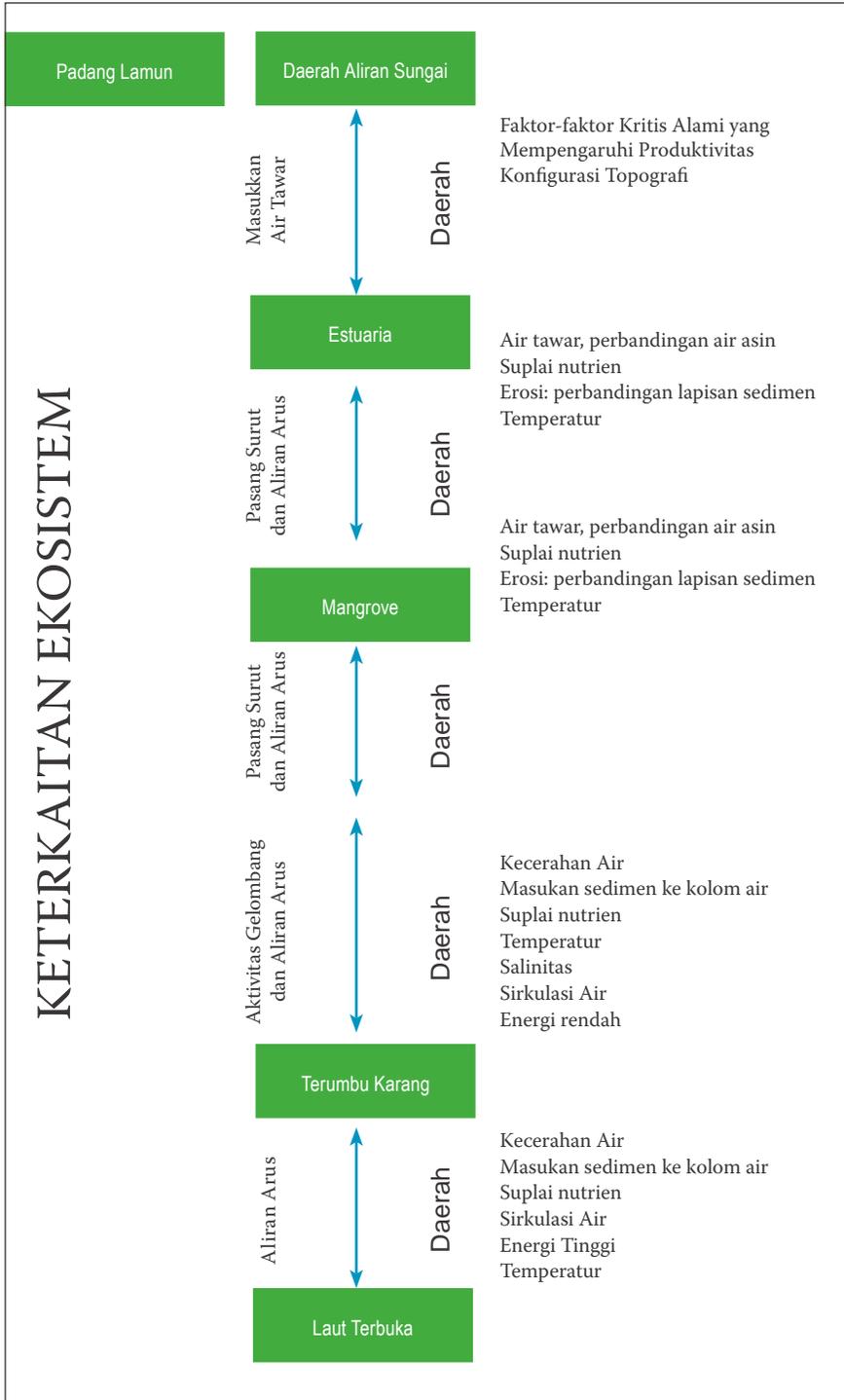
Telah disebutkan di atas bahwa salah satu sumber pencemar utama adalah dari daratan, di mana dampak dari pencemaran tersebut akan terjadi sepanjang perjalanannya seperti badan sungai, muara, ekosistem pesisir dan laut (Gambar 162). Interaksi yang terjadi selain faktor fisika yang berperan seperti arus dan pasang surut, juga proses dan dinamika kimia serta biologi sepanjang lahan tersebut. Pada akhirnya pencemaran yang dilakukan manusia akan berdampak pada biota, alam (ekosistem) dan akhirnya kembali kepada manusia.

Dampak pencemaran diawali pada lingkungannya dalam hal ini adalah badan air (sungai/laut) karena semua bahan pencemar yang bersumber dari daratanpun akan berdampak ke laut. Diawali dengan menurunnya kualitas air di sungai seperti keruh, beracun, berbau akibat akhirnya air dalam sungai tidak dapat dipergunakan. Hal ini berdampak pada kesehatan manusia yang memanfaatkan air sungai. Air sungai/air laut yang tercemar dapat menjadi media bagi bakteri/mikroba patogen, media beberapa penyakit yang masuk dalam kategori *water-borne diseases*, atau penyakit-penyakit yang dibawa oleh air, yang masih banyak terdapat di daerah-daerah. Selain itu khusus di pulau-pulau kecil sanitasi yang buruk juga merupakan sumber bahan pencemar dengan tinggi mikroba/bakteri pathogen seperti *faecal coliform* dan *Vibrio cholerae* yang dapat menyebabkan wabah kolera.

Dampak pencemaran dalam perjalanan di badan sungai akan berpengaruh pada biota yang hidup dalam kolom air maupun di sekitarnya selama perjalanan bahan pencemar. Jumlah yang besar dari pencemar misalnya air limbah tinggi bahan organik akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut dalam air tersebut yang akan mempengaruhi kehidupan biota dalam air yang membutuhkan oksigen. Akibat ekstimnya dapat menyebabkan kematian massal biota yang hidup dan berdampak pula pada tanaman yang ada di sekitarnya dan dalam kolom air. Berdampak pula pada bakteri-bakteri yang dapat mempengaruhi prose penjernihan air, sehingga penjernihan air secara alamiah terhambat dan limbah pun sulit terurai. Selain itu limbah air panas yang langsung dilepas ke kolom air (sungai, muara atau pesisir laut) akan mempengaruhi kehidupan biota terutama yang *sesile* (tidak bergerak/jarang bergerak). Pada akhirnya terjadi degradasi ekosistem yang berdampak pada sektor perikanan baik perikanan sungai maupun pesisir dan laut.

Dampak lainnya adalah estetika/keindahan pada alam dimulai dari sumber pencemar yang semakin banyaknya zat organik yang dibuang ke lingkungan perairan, maka perairan tersebut akan semakin tercemar yang biasanya ditandai dengan bau yang menyengat disamping tumpukan yang dapat mengurangi estetika lingkungan (Gambar 163 dan 164). Masalah limbah minyak atau lemak juga dapat mengurangi estetika. Selain bau, limbah tersebut juga menyebabkan tempat sekitarnya menjadi licin. Sedangkan limbah detergen atau sabun akan menyebabkan penumpukan busa yang

Gambar 162.
 Hubungan
 Antara Lahan
 Atas (*Up Land*)
 dan Ekosistem
 Wilayah Pesisir
 (Coastal Ecosystem)
 (Dahuri *et al*, 2004
 dimodifikasi oleh
 Devi Dwiyaniti)





Gambar 163.
Sampah menumpuk di pesisir Pulau Kemujan, Kepulauan Karimunjawa (Photo credit: Pusriskel, 2016)



Gambar 164.
Sampah menumpuk di pesisir pulau Pramuka (Photo credit: Pusriskel 2017)

sangat banyak. Inipun dapat mengurangi estetika. Dampak ini akan berpengaruh pada pariwisata terutama pulau-pulau kecil yang umumnya sektor ekonomi yang berperan adalah pariwisata yang akan berpengaruh pada perekonomian masyarakat lokal yang bergerak pada sektor wisata maupun nelayan.

9.7 Pengelolaan Pencemaran Pesisir dan Laut

Masalah perlindungan lingkungan laut merupakan salah satu misi dalam Kebijakan Kelautan Indonesia 2016 – 2036. Kebijakan Kelautan Indonesia bersandar pada visi Pembangunan Indonesia yang dituangkan dalam Undang-undang Nomor 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2005 – 2025, Undang-undang Nomor 32 Tahun 2014 tentang kelautan serta doktrin Indonesia sebagai poros maritim dunia. Visi kebijakan kelautan Indonesia adalah mewujudkan Indonesia sebagai poros maritim dunia, yaitu menjadi negara maritim yang maju, mandiri, kuat, serta mampu memberikan kontribusi positif bagi keamanan dan perdamaian kawasan dan dunia sesuai kepentingan nasional.

Untuk mewujudkan visi serta melaksanakan misi yang telah dicanangkan, dalam Kebijakan Kelautan Indonesia juga dijabarkan kebijakan umum dan strategi yang dapat menjadi acuan perencanaan pembangunan sektor kelautan di berbagai bidang oleh kementerian/lembaga, pemerintah provinsi, pemerintah kabupaten/kota, serta rujukan berbagai aktivitas oleh pelaku usaha kecil, menengah, besar, akademisi, LSM, dan masyarakat luas.

Kebijakan Kelautan Indonesia terdiri atas pilar-pilar strategi yaitu:

- ❖ Pengelolaan Sumber Daya Kelautan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia
- ❖ Pertahanan, Keamanan, Penegakan Hukum, dan Keselamatan di Laut
- ❖ Tata Kelola Kelembagaan
- ❖ Ekonomi Kelautan, Infrastruktur Kelautan dan Peningkatan Kesejahteraan
- ❖ Pengelolaan Ruang Laut dan Perlindungan Lingkungan Laut

Dari pilar-pilar strategi diatas, terdapat beberapa pilar strategi yang sangat erat hubungannya dengan isu lingkungan seperti dalam strategi pengelolaan sumber daya kelautan, pengelolaan ruang laut, dan perlindungan lingkungan laut.

Dalam pilar strategi pengelolaan sumber daya kelautan program-program utama dalam melaksanakan strategi ini adalah sebagai berikut:

- ❖ Pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya perikanan secara lestari

- ❖ Peningkatan pengolahan, pemasaran, nilai tambah, serta standar dan keselamatan produk kelautan dan perikanan
- ❖ Peningkatan perlindungan terhadap kelestarian keanekaragaman hayati laut melalui konservasi ekosistem, jenis, dan genetik
- ❖ Pengembangan dan pemanfaatan energi dan sumber daya mineral sesuai dengan prinsip ekonomi biru dengan memperhatikan teknologi ramah lingkungan
- ❖ Pemanfaatan secara berkelanjutan sumber daya alam nonkonvensional berdasarkan prinsip kelestarian lingkungan
- ❖ Pengembangan pariwisata bahari berkelanjutan dengan memperhatikan kepentingan masyarakat lokal, kearifan tradisional, kawasan konservasi perairan, dan kelestarian lingkungan.
- ❖ Pengembangan industri bioteknologi kelautan dengan pemanfaatan potensi keanekaragaman hayati
- ❖ Peningkatan pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil secara seimbang dan berkelanjutan
- ❖ Penguatan sistem informasi, data kelautan, inventarisasi, dan evaluasi sumber daya kelautan

Kelestarian lingkungan merupakan hal terpenting yang sangat diperhatikan pada sebagian besar program diatas. Pentingnya kelestarian lingkungan ini, bahkan menjadi salah satu pilar strategi tersendiri yaitu pengelolaan ruang laut dan perlindungan laut.

Pada pilar strategi Pengelolaan Ruang Laut dan Perlindungan Lingkungan Laut, kebijakan perlindungan laut bertujuan untuk melestarikan sumber daya kelautan dan mencegah pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan di laut.

Program-program utama dalam melaksanakan strategi kebijakan perlindungan lingkungan laut adalah sebagai berikut:

- ❖ Penguatan pengelolaan wilayah daerah aliran sungai (DAS), pesisir, laut, dan pulau-pulau kecil melalui manajemen terpadu dan berkelanjutan
- ❖ Penguatan konservasi laut
- ❖ Pencegahan, penanggulangan, dan pemulihan dampak pencemaran dan kerusakan lingkungan laut
- ❖ Penanggulangan bencana kelautan
- ❖ Pengembangan tata guna dan infrastruktur pesisir dan laut yang berkelanjutan
- ❖ Pengembangan kerjasama bilateral, regional, dan global di bidang pengelolaan lingkungan laut

9.7.1 Kebijakan

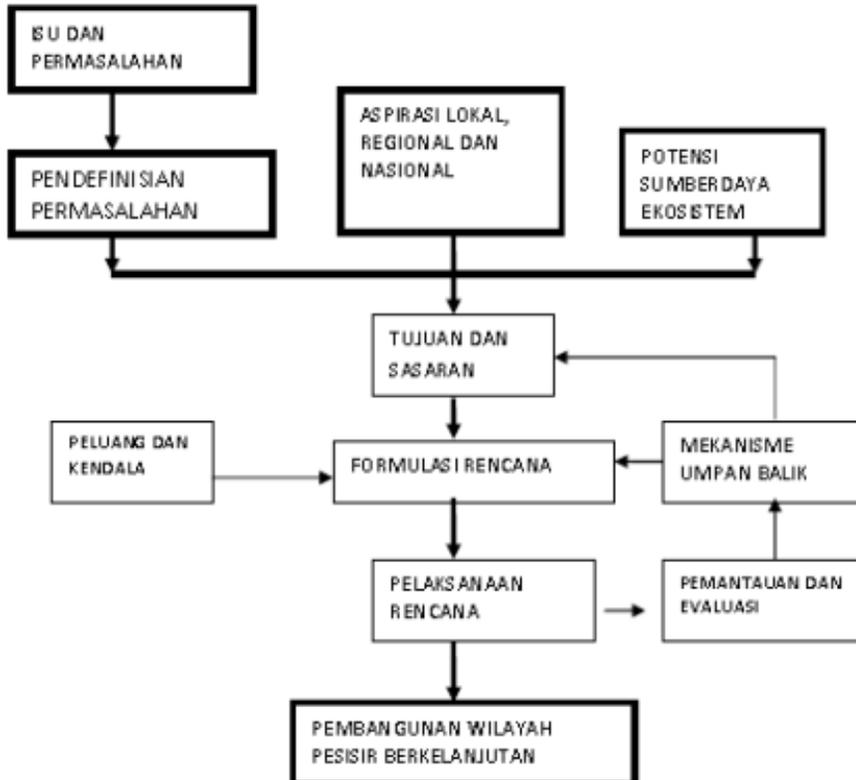
Ada beberapa dasar hukum lingkungan Internasional terhadap Pencemaran di Laut yang dapat menjadi acuan yaitu:

1. *Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter (London Dumping) 1972* : adalah konvensi Internasional yang ditandatangani pada tanggal 29 Desember 1972 dan mulai berlaku pada 30 Agustus 1975. Konvensi ini pada dasarnya membahas tentang larangan pembuangan limbah di lingkungan laut secara sengaja. Tujuan dari konvensi ini adalah melindungi dan melestarikan lingkungan laut dari segala bentuk pencemaran yang menimbulkan kewajiban bagi peserta protokol untuk mengambil langkah-langkah yang efektif, baik secara sendiri atau bersama-sama, sesuai dengan kemampuan keilmuan, teknik dan ekonomi mereka guna mencegah, menekan dan apabila mungkin menghentikan pencemaran yang diakibatkan oleh pembuangan atau pembakaran limbah atau bahan berbahaya lainnya di laut. Peserta protokol juga berkewajiban untuk menyelaraskan kebijakan mereka satu sama lain.
2. *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships 1973/1978 (MARPOL 1973/1978)*, adalah sebuah peraturan internasional yang bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran di laut dengan penekanan setiap sistem dan peralatan yang ada di kapal bersifat menunjang peraturan ini harus mendapat sertifikasi. Dalam MARPOL terdapat enam lampiran mengenai pencegahan polusi dari kapal yaitu: Lampiran I mengenai pembuangan limbah minyak dengan ketentuan-ketentuan; Lampiran II mengenai pembuangan limbah *Nixious Liquid Substance Carried in Bulk* (cairan Nox berbentuk curah); Lampiran III mengenai pembuangan limbah *Harmful Substance in Packages Form* (barang-barang berbahaya dalam kemasan), substansi berbahaya dan kemasan yang dimaksud adalah substansi yang masuk dalam kriteria IMDG (*International Maritime Dangerous Good*) code. Peraturan ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya pencemaran laut oleh barang-barang yang memiliki sifat berbahaya (baik secara fisis maupun kimia) sehingga perlu mendapatkan perlakuan-perlakuan khusus; Lampiran IV mengenai pembuangan limbah *Sewage* (air kotor/air pembuangan), dikarenakan ada ribuan spesies laut (termasuk bakteri dan mikrobia yang lainnya, invertebrate kecil, kista, dan larva berbagai spesies) yang terkandung dalam air *ballast* kapal. Ketika kapal melakukan proses *ballasting* dan *deballasting* maka akan terjadi pertukaran organisme di satu daerah dengan daerah lainnya. Proses ini berlangsung selama bertahun-tahun selama kapal beroperasi di dunia. Hal ini mengakibatkan keseimbangan ekosistem terganggu. Karena organism asli bercampur dengan organisme pendatang (invasive aliens) menyebabkan banyak terjadi mutasi genetika; Lampiran V mengenai pembuangan *Garbage*

(sampah) dengan beberapa tipe sampah dapat diklasifikasi sebagai berikut plastic (tali sintetis, jala, tas plastik, dll), sampah campuran, sisa makanan, kertas, kain, kaca, metal dan Lampiran VI mengenai *Air Pollution* (polusi udara).

3. *United Nation Convention on the Law of the Sea* (UNCLOS 1982), merupakan salah satu ketentuan yang mengatur masalah laut terlengkap dan berhasil disepakati oleh negara-negara. Hal ini terbukti sejak tahun 1994 UNCLOS 1982 mulai berlaku, pada tahun 1999 telah diratifikasi oleh 130 negara dan piagam ratifikasi telah didepositkan ke sekretariat Jenderal PBB termasuk Indonesia. UNCLOS 1982 juga memiliki lampiran-lampiran yang berisi antara lain:

- Kewajiban umum negara-negara untuk melindungi dan melestarikan lingkungan lautnya terdapat atau dinyatakan dalam seksi I yang mengatur ketentuan-ketentuan umum.
- Tindakan untuk mencegah mengurangi dan mengendalikan pencemaran lingkungan laut dari sumber apapun dapat dilakukan oleh negara-negara sendiri-sendiri atau bersama-sama.



Tabel 23
Proses Perencanaan dan Pengelolaan Lingkungan Pesisir dan Laut secara Terpadu (Dahuri *et al.*, 2001)

- Kerjasama Global dan Regional, misalnya Pasal 198 mengatur kewajiban negara-negara untuk memberitahukan negara lain dalam hal mereka mengetahui adanya suatu bahaya yang mengancam lingkungan laut. Mereka berkewajiban untuk memberitahukan negara lain yang menurut perkiraan dapat terkena kerugian (kerusakan lingkungan) demikian dan juga organisasi-organisasi internasional yang berwenang. Negara-negara juga mempunyai kewajiban untuk menurut kemampuannya bekerjasama dengan organisasi internasional yang berwenang untuk merencanakan, mengembangkan dan mempromosikan rencana-rencana darurat (*contingency plan*) untuk menangani peristiwa-peristiwa pencemaran laut mereka.
- Bantuan teknis, misalnya bantuan teknis, pemantauan (*monitoring*) dan penilaian keadaan lingkungan (*environment assessment*).

Dasar Hukum Nasional terhadap Pencemaran di Laut

Beberapa aturan hukum nasional mengenai pencemaran di laut antara lain :

- ❖ Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- ❖ Peraturan Pemerintah No. 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut.
- ❖ Perpres No.109 Tahun 2006 tentang Penanggulangan Keadaan Darurat Tumpahan Minyak di Laut
- ❖ Perpres No. 83 Tahun 2018 tentang RAN penanganan sampah laut 2018 – 2025

9.7.2 Strategi Pengelolaan

Strategi pengelolaan disini dimaksudkan untuk mengelola limbah, baik limbah cair, padat dan gas (emisi gas buang). Dengan adanya pengelolaan limbah yang benar, maka air limbah dan gas buang dapat memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Suatu kota harus mempunyai instalasi pengolahan air limbah domestik terpadu, baik limbah padat maupun cair. Dengan demikian, kualitas air laut di pesisir dapat terjaga.

Limbah yang harus dikelola (*waste management*), antara lain:

- a) Limbah padat domestik (*solid waste*)
- b) Limbah Cair Domestik (*sewage*)
- c) Limbah industri (*industrial waste*)
- d) Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (*Hazardous Waste*)
- e) Limbah Minyak
- f) Limbah Gas dan Debu

Strategi pengelolaan selanjutnya lebih mengarah pada sistem manajemen, yaitu pengelolaan pesisir terpadu (Integrated Coastal Management). Beberapa hal yang penting untuk dipertimbangkan dalam pengelolaan terpadu :

- a. Adopsi pendekatan yang sistematis dalam implementasi proyek atau program pengelolaan pesisir terpadu:
 - Penerapan kerangka pengelolaan lingkungan pesisir dalam pengelolaan sektoral.
 - Penggunaan kombinasi opsi-opsi pengelolaan.
 - Adopsi pendekatan pencegahan.
- b. Pelibatan sektor masyarakat umum dalam proses pengelolaan lingkungan pesisir dan laut terpadu
- c. Pengintegrasian informasi lingkungan, ekonomi dan sosial sejak tahap awal dari proses pengelolaan lingkungan pesisir dan laut terpadu
- d. Pembentukan mekanisme bagi keterpaduan dan koordinasi
- e. Pembentukan mekanisme pendanaan secara berkelanjutan
- f. Pengembangan kapasitas pengelolaan lingkungan pesisir dan laut terpadu di semua tingkatan
- g. Pemantauan efektivitas proyek atau program pengelolaan pesisir dan laut terpadu

9.7.3 Strategi Pengendalian

Pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup dilaksanakan dalam rangka pelestarian fungsi lingkungan hidup di wilayah pesisir. Dalam Pasal 13 ayat (2) Undang-undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan hidup dinyatakan:

“Pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:

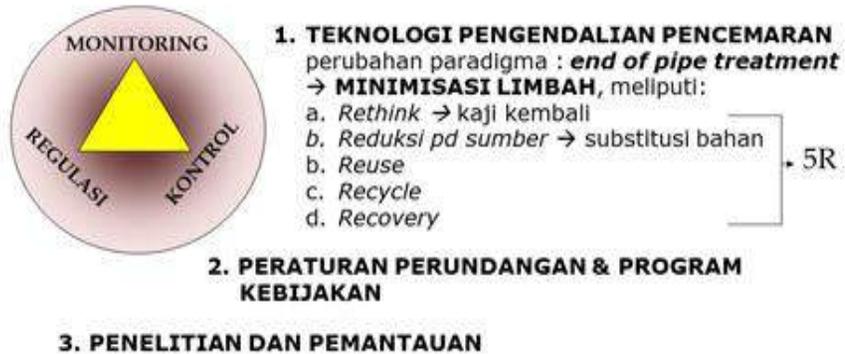
1. Pencegahan;
2. Penanggulangan; dan
3. Pemulihan.

Ada beberapa instrumen yang dapat dikembangkan dalam mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan di wilayah pesisir. Menurut Pasal 14 Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup terdiri atas:

- a) kajian lingkungan hidup strategis (KLHS);
- b) tata ruang;

MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN

Gambar 165.
Skema
Manajemen
Lingkungan



- c) baku mutu lingkungan hidup;
- d) kriteria baku kerusakan lingkungan hidup;
- e) amdal;
- f) UKL-UPL;
- g) perizinan;
- h) instrumen ekonomi lingkungan hidup;
- i) peraturan perundang-undangan berbasis lingkungan hidup;
- j) anggaran berbasis lingkungan hidup;
- k) analisis risiko lingkungan hidup;
- l) audit lingkungan hidup; dan
- m) instrumen lain sesuai dengan kebutuhan dan/atau perkembangan ilmu pengetahuan.

Penerapan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) dan tata ruang yang konsisten akan mengurangi terjadinya kerusakan lingkungan. Dalam penyusunan strategi pengendalian pencemaran dan kerusakan lingkungan, perlu memperhatikan:

- ❖ Penerapan baku mutu;
- ❖ Pelaksanaan program pengawasan;
- ❖ Izin pembuangan limbah ke laut dan
- ❖ Penaatan serta penegakan hukum lingkungan.

Pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup di wilayah pesisir harus dilaksanakan oleh Pemerintah, pemerintah daerah, dan penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan sesuai dengan kewenangan,

peran, dan tanggung jawab masing-masing. Masing-masing pihak yang terkait harus memperhatikan instrumen pencegahan yang tersebut di atas, melaksanakan penanggulangan seperti yang diatur pada Pasal 53 Undang-Undang No. 32 Tahun 2009, yaitu:

- a. Pemberian informasi peringatan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup kepada masyarakat;
- b. Pengisolasian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup;
- c. Penghentian sumber pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup; dan/atau
- d. Cara lain yang sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

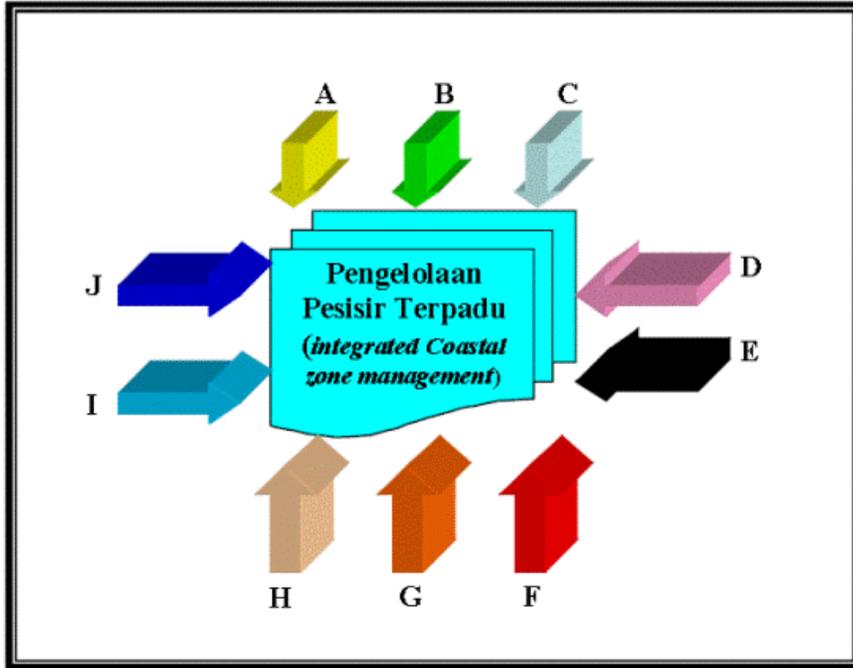
Sedangkan pemulihan lingkungan kerusakan dan pencemaran wilayah pesisir dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Penghentian sumber pencemaran dan pembersihan unsur pencemar;
- b. Remediasi;
- c. Rehabilitasi;
- d. Restorasi; dan/atau
- e. Cara lain yang sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

9.8 Implementasi Pembangunan Pesisir dan Lautan yang Berkelanjutan (*Sustainable*)

Pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) menurut WCED (1987) seperti yang dikutip oleh Joint Group of Experts on The Scientific Aspect of Marine Environment Protection (GESAMP) (2004) mendefinisikan sebagai “pembangunan yang dapat mempertemukan kebutuhan pada saat ini tanpa melupakan kebutuhan generasi mendatang”. FAO lebih spesifik lagi menyatakan bahwa “pembangunan berkelanjutan adalah pengelolaan dan konservasi sumberdaya alam dan orientasi perubahan-perubahan teknologi dan institusi untuk memenuhi kesejahteraan manusia pada saat ini dan masa yang akan datang”. Bila pembangunan berkelanjutan dalam pengelolaan pembangunan pesisir dan lautan diterapkan, maka secara teknis dapat didefinisikan bahwa “pembangunan pesisir dan lautan berkelanjutan (*sustainable coastal-marine development*) adalah suatu upaya pemanfaatan sumberdaya alam dan jasa-jasa lingkungan yang terdapat dalam kawasan pesisir dan lautan sedemikian rupa sehingga laju (tingkat) pemanfaatannya tidak melebihi daya dukung (*carrying capacity*) kawasan pesisir dan lautan untuk menyediakannya sehingga kebutuhan dan kesejahteraan manusia pada saat ini dan mendatang dapat terpenuhi”. Kompleksitas permasalahan pengembangan dan pembangunan wilayah pesisir dan lautan mengharuskan

dalam pengelolaannya memperhatikan adanya keterpaduan (intergritas) agar keberlanjutan dapat tercapai. Banyak faktor yang akan mempengaruhi dan terlibat dalam menentukan keberlanjutan pemanfaatan sumberdaya ini baik faktor abiotis, biotis maupun lingkungan sosial ekonomi dan budaya masyarakat di wilayah ini. Oleh karenanya, pemahaman terhadap proses alam yang mengatur keanekaragaman hayati, termasuk masyarakat yang menempatnya sebagai suatu kesatuan ekosistem di wilayah ini mutlak diperlukan bagi setiap proses perencanaan. Lebih lanjut Dahuri (2003) memberikan persyaratan yang harus dipatuhi dalam pelaksanaan pembangunan pesisir dan lautan secara berkelanjutan antara lain (1) perlu adanya keharmonisan ruang (spatial harmony) untuk kehidupan manusia dan kegiatan pembangunan yang dituangkan dalam bentuk peta tata ruang, (2) tingkat pemanfaatan sumberdaya dapat pulih (renewable resources) seperti sumberdaya perikanan dan mangrove tidak melebihi kemampuan pulih pada kurun waktu tertentu, (3) dalam memanfaatkan sumberdaya tidak dapat pulih (non-renewable resources) tidak merusak tatanan dan fungsi ekosistem pesisir dan lautan, (4) ketika kita membuang limbah ke alam tidak bersifat racun (tidak beracun/B3), dan (5) manakala kita membuat dan membangun misalnya membangun dermaga/pelabuhan perikanan, pemecah gelombang hendaknya disesuaikan dengan karakteristik dan dinamika alamiah lingkungan seperti pasang surut, pola arus dan gelombang serta sifat kimiawi dan biologis sehingga tidak merusak tatanan dan fungsi ekosistem. Untuk memenuhi persyaratan yang diajukan oleh Dahuri (2003) maka perlu adanya tahapan perencanaan yang benar. Perencanaan yang baik adalah perencanaan yang dapat digunakan dalam pelaksanaan pembangunan tanpa menimbulkan konflik antar pelaku yang terlibat di dalamnya. Perencanaan demikian dicirikan dengan adanya suatu keterpaduan (intergrated) yang menggambarkan keinginan para pihak (Gambar 166).



Gambar 166.
Skema Pengelolaan
Kawasan Pesisir
dan Laut Terpadu

Keterangan:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| A. Kecepatan antar Pemerintah/Kewenangan | F. Konsisten pembiayaan |
| B. Kecepatan antar ekosistem darat dan laut | G. Konsisten perencanaan |
| C. Kecepatan antar disiplin/lini | H. Prastata kelembagaan |
| D. Kecepatan antar lembaga/sektor | I. Prastata penegakan hukum |
| E. Desentralisasi pengelolaan | J. Pengakuan terhadap hak masyarakat |

- [BRKP] Badan Riset Kelautan dan Perikanan. 2009. Peta Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata di Perairan Indonesia. Album Peta Perubahan Iklim. Skala 1 : 7.500.000.
- [GEBCO] General Bathymetric Chart of The Oceans. 2014. GEBCO_2014 Bathymetric Grid. <http://gebco.net> [akses 25 Mei 2019]
- [IOC] Intergovernmental Oceanographic Commission. 2016. Tsunami Glossary. IOC Technical Series, 85. Third Edition. (English). IOC/2008/TS/85 rev.2. Paris, UNESCO.
- Adi, N.S., Suryanto, M.S. Papatungan. A.F. Condrohadiyanto., D. Wijayanto dan W.S. Pranowo. 2019. Kajian Sektor Kelautan dan Perikanan Sebagai Kontribusi Terhadap Kebijakan Perubahan Iklim Di Indonesia. Policy Brief. Demand-Driven Research Fund, Coremap - CTI, LIPI.
- Adi, T.R., B.M. Sukojo, T. Hariyanto, S. Wirasantosa, W.S. Pranowo, W. Yu, & M. Mustain. 2014. Model Variasi Harian Suhu Permukaan Laut dari Data MODIS dan In Situ Menggunakan Metoda Parameterisasi Empirik di Samudra Hindia. *J. Segara* 10(1): 87-97.
- Adnan, Q. 1994. Tiga Tahun Kejadian-Kejadian Red Tide di Teluk Jakarta (Three Years Red Tide Occurences At The Jakarta Bay, Indonesia). *Prosiding Seminar Pemantauan Pencemaran Laut*, Jakarta 7-9 Februari 1994.P30 – LIPI.
- Aldrian, E. & Susanto, R., D. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol.* 23: 1435-1452. doi:10.1002/joc.950
- Aldrian, E. 2008. Meteorologi Laut Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta
- Amponsah, N.Y., M. Troldborg, B. Kington, I. Aalders, R. L. Hough. 2014. Greenhouse Gas Emissions from Renewable Energy Sources: A Review of Lifecycle Considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.39, p.461-475
- Amri M Robi., dkk. 2016. Resiko Bencana Indonesia. Jakarta. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).
- Andyyahya.com. Diakses pada tanggal 24 Juli 2019. <http://www.andyyahya.com/mengenal-sumberdaya-alam-di-indonesia.html/>.
- Anggara, P.D., Alam, T.M., Adrianto, D., Pranowo, W.S. 2018. The wave characteristics in Natuna Sea and its adjacent for naval operation base purposes. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 176 (2018) 012003 doi :10.1088/1755-1315/176/1/012003
- Arenas, A. D., & Huertas, J. F., 1986. Hydrology and Water Balance of Small Island: A Review of Existing Knowledge. Paris: UNESCO.

- Arif, I., 2007. Perencanaan Tambang Total Sebagai Upaya Penyelesaian Persoalan Lingkungan Dunia Pertambangan. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Arifiyanto, W.S. Pranowo, A.R.T.D. Kuswardani, K.I. Fatoni. 2016. Pengolahan dan Penyajian Data Arus Pasang Surut Hasil Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) SonTek Argonaut-XR Menggunakan Perangkat Lunak T_TIDE_V1.3beta. *J. Hidropilar* 01(02): 56-67.
- Armansyah, D., N.B. Sukoco, W.S. Pranowo. 2018. Sonic Layer Depth Variation Analysis Utilizing BIDE (Banda ITF Dynamic Experiment) Argo Float In Situ Observation For Undersea Warfare Tactical Environment Support. *International Journal of ASRO* 9(1): 62-73.
- Arsadi, E. M., Utomo, E. P., Suherman, D., Hantoro, W. S., & Sumawijaya, N., 2005. Sumberdaya Air di Pulau Kecil di Kepulauan Takabonerate Kabupaten Selayar, Sulawesi Selatan.
- Assadad, L., & Utomo, B. S. B., 2011. Pemanfaatan garam dalam industri pengolahan produk perikanan. Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, 6(2), 26-37.
- Atastatik.migas.esdm.go.id. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019. <http://statistik.migas.esdm.go.id/index.php?r=petaCadanganGasBumi/index>.
- Atlantisjavasea.com. Diakses pada tanggal 21 Mei 2019. <https://atlantisjavasea.com/tag/sunda-shelf/>.
- Atwater, B.F., Satoko, M.R., Kenji, S., Yoshinobu, T., Kazue, U., & Yamaguchi, D.K. 2005. The Orphan Tsunami of 1700: Japanese clues to a parent earthquake in North America. United States Geological Survey in association with University of Washington Press: p.10.
- Audley-Charles, M. G. 1981. Continental movement in the Mesozoic and cenozoic. Wallace's line and plate tectonics, 9-23.
- Azanza, R.V., Taylor, F.J.R.M., 2001. Are Pyrodinium Blooms In The Southeast Asian Region Recurring And Spreading ? A View At The End Of The Millennium. *Ambio* 30, 356–364
- Bahri, S. 2017. Struktur Polupasi dan Keragaman Genetik Penyu Lekang (*Lepidochelys olivacea*) dan kaitannya dengan sirkulasi arus di Indonesia. Sekolah Pasca Sarjana IPB.
- Baker, A.C., P.W. Glynn. and B. Riegl. 2008. Climate Change and Coral Reef Bleaching: An Ecological Assessment of Long-Term Impacts, Recovery Trends and Future Outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.80, 4, p.435-471
- Bakti H., 2007. Sumber Daya Air di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil di Indonesia. Jakarta. LIPI Press, pp.xv.

- Bappenas. 2018. Low Carbon Development : A Paradigm Shift Towards A Green Economy in Indonesia. Full Report.
- Bayhaqi, A., Iskandar, I., Surinati, D., Budiman, A.S., Wardhana, A.K., Dirhamsyah., Yuan, D., Lestari, D.O. 2018. Water mass characteristic in the outflow region of the Indonesian throughflow during and post 2016 negative Indian ocean dipole event. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 149 (2018) 012053 doi: 10.1088/1755-1315/149/1/012053
- Bearman, G. (Ed.). 1995. Sea Water: Its Composition, Properties and Behaviour The Open University, England, 1995
- Behrenfeld, M. J., E. Boss, D. A. Siegel, and D. M. Shea .2005. Carbon-based Ocean Productivity and Phytoplankton Physiology from Space. *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB1006, doi:10.1029/2004GB002299.
- Berger A., Loutre M.F. 1994. Precession, Eccentricity, Obliquity, Insolation and Paleoclimates. In: Duplessy JC., Spyridakis MT. (eds) Long-Term Climatic Variations. NATO ASI Series (Series I: Global Environmental Change), vol 22. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bijma, J., H. Pörtner, C. Yesson, A. D.Rogers. 2013. Climate Change and the Oceans – What Does the Future Hold ? *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 74, 2, p.495-505
- BIG. 2015. Pentingnya informasi geospasial untuk menata laut Indonesia. www.big.go.id (12 Januari 2015) (akses) 29 April 2019.
- Björk M., Short F., Mcleod, E. and Beer, S. 2008. Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change. IUCN, Gland, Switzerland. 56pp
- Bloom, A. L., 1965, The Explanatory description of coasts, Z. Geomorphology.
- BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika), 2012. Buku Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), 2012. Buku Saku Tanggap Tangkas Menghadapi Bencana.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), 2015. Peraturan Kepala BNPB No 07 Tahun 2015 tentang Rambu dan Papan Informasi.
- Borges, A. V., B. Delille, and M. Frankignoulle. 2005. Budgeting Sinks and Sources of CO₂ in the Coastal Ocean: Diversity of Ecosystems Counts. *Geophysical Research Letters.*, 32, L14601, doi:10.1029/2005GL023053.
- Bouillon, S., A.V. Borges, E. Castañeda-Moya, K. Diele, T. Dittmar, N.C. Duke, E. Kristensen, S.Y. Lee, C. Marchand, J.J. Middelburg et al. 2008. Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. *Global Biochemical Cycles*. Vol.22, Issue 2
- Bramawanto, R., Sagala, S.L., Suhelmi I.R., & Prihatno, H., 2015. Struktur dan Komposisi Tambak Teknologi Ulir Filter Untuk Peningkatan Produksi Garam Rakyat. *Jurnal Segara*, 11(1):1-11.

- Brander, K., 2010. Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, 79(3-4), pp.389-402.
- Cai, W.J., Dai, M., and Wang, Y. 2006. Air-Sea Exchange of Carbon Dioxide in Ocean Margins : A Province Based Synthesis. *Geophysical Research Letters*, Vol.33. L12603, doi: 10.1029/2006GL026219
- Brander, K., 2010. Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, 79(3-4), pp.389-402.
- Bratakusuma, Boyke., 2016. "Potensi Besar Pemanfaatan Geothermal di Indonesia," <http://nationalgeographic.co.id/berita/2016/07/potensi-besar-pemanfaatan-geothermal-di-indonesia>. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019.
- Cahyadi, A., 2012. Permasalahan Sumberdaya Air Pulau Kecil. Makalah dalam Seminar Lingkungan Hidup 2012. Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro Semarang.
- Cai, W.J., Dai, M., and Wang, Y. 2006. Air-Sea Exchange of Carbon Dioxide in Ocean Margins : A Province Based Synthesis. *Geophysical Research Letters*, Vol.33. L12603, doi: 10.1029/2006GL026219.
- Cam, W. C. 2012. Technologies for Climate Change Mitigation: Building Sector. UNEP. New Delhi: Magnum Custom Publishing, 197pp.
- Candra, K., 2010. Garam Indonesia masih bergantung impor. <http://www.tempointeraktif.com/hg/bisnis/2010/05/18/brk,20100518-248535,id.html>. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019.
- Chamberlin, S. 2009. Currents and Tide of the Oceans. <http://marinebio.org/theocean /currents&tide.html> [25 September 2009]
- Chamberlin, S. 2009. The Light and Color of the Oceans. <http://marinebio.org/theocean /thelight&color.html> [25 September 2009]
- Chappell, J and H.A. Polach. 1991. Post - glacial sea - level rise from a coral record at Huon Peninsula. Papua New Guinea. *Nature* v. 349, p. 147–149.
- Chappell, J and N.J. Shackleton. 1986. Oxygen isotopes and sea level: *Nature* v. 324 p. 137–140.
- Chierici, M, A.Olsen, T. Johannessen, J. Trinanes and R. Wanninkof. 2009. Algorithms to Estimate the Carbon Dioxide Uptake in the Northern North Atlantic Using Shipboard Observations, Satellite and Ocean Analysis Data. *Deep Sea Research II*, 56, 630-639.
- Christanto, J., 2010. Pengantar Pengelolaan Berkelanjutan Sumberdaya Wilayah Pesisir. Deepublish: Yogyakarta Dinas Kelautan Perikanan. Indonesia.
- Church J.A, et al. 2013. Sea level change. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge Univ Press, Cambridge, UK), pp 1137–1215.

- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 2013: Sea Level Change. *In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Coatanoan, C., Metzl, N., Fieux, M., Coste, B. 1999. Seasonal water mass distribution in the Indonesian throughflow entering the Indian Ocean. *J. Geophys. Res.* 104 (C9): 20,801-20,826.
- Cole, J., McCabe, R., Moriarty, T., Malicse, J. A., Delfin, F. G., Tebar, H., & Ferrer, H. P., 1989. A preliminary Neogene paleomagnetic data set from Leyte and its relation to motion on the Philippine fault. *Tectonophysics*, 168(1-3), 205-220.
- Coles, R., L. McKenzie, S. Campbell, J. Mellors, M. Waycott, and L. Goggin., 2004. Seagrasses in Queensland Waters. CRC Reef Research Centre Ltd.6 pp.
- Cooke, R. U., & Doornkamp, J. C., 1977. *Geomorphology in Environmental Management: an introduction* (reprint edition). Clarendon Press, Oxford, 413 p.
- Corbett, G. J. & Leach, T. M., 1996. Southwest Pacific Rim gold-copper systems. In *Structure, Alteration and Mineralization, Manual for an Exploration Workshop*, Jakarta.
- Corbett, G., 2002. Epithermal gold for explorationists. *AIG News*, 67, 1-8.
- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut, Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. PT Gramedia. Jakarta.
- Delinom, R. M., & Lubis, R. Fajar., 2005. Air Tanah di Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. dalam Delinom, Robert M. (ed) 2007. *Sumber Daya Air di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil di Indonesia*. Bandung: LIPI Press.
- Dillenia, I., & Kusuma S. C., 2010. Sumberdaya Arkeologi Laut untuk Pengembangan Ekowisata Bahari di Indonesia: Tinjauan Konsep dan Studi Kasus. dalam *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan VI ISOI 2009*, Jakarta : Sekretariat ISOI.
- Dillenia, Ira dan LPA Savitri Chitra Kusuma. (2010). Sumberdaya Arkeologi Laut untuk Pengembangan Ekowisata Bahari di Indonesia: Tinjauan Konsep dan Studi Kasus. dalam *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan VI ISOI 2009*, Jakarta : Sekretariat ISOI.
- Dillenia, Ira dan LPA Savitri Chitra Kusuma. (2010). Sumberdaya Arkeologi Laut untuk Pengembangan Ekowisata Bahari di Indonesia: Tinjauan Konsep dan Studi Kasus. dalam *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan VI ISOI 2009*, Jakarta : Sekretariat ISOI

- Dillenia, Ira dan Rainer Arief Troa. (2016) Identifikasi Situs Kapal Karam Bersejarah "Karang Panjang" di Perairan Pulau Laut Natuna. *Jurnal Kelautan Nasional* Vol 11 Nomor 1 Hal 11-20. Jakarta April 2016. ISSN 1907-767X. Nomer Akreditasi 682/AU3/P2MI-LIPI/07/2015
- Dillenia, Ira. et.al. 2016. In Situ Preservation of Marine Archaeological Remains Based on Geodynamic Conditions, Raja Ampat Indonesia : Conservation and Management of Archaeological Sites, Vol. 18, No 1-3, February-August, 364-371, DOI: 10.1080/13505033.2016.1182775, Taylor & Francis Group, UK.
- Dillenia, I., *et al.*, 2016. Studi Pembaharuan Titik Situs Kapal Karam Bersejarah di Kawasan Perairan Bangka Belitung (*tidak dipublikasikan*), P3SDLP, Jakarta
- Dinas Lingkungan Hidup Kehutanan dan Pertambangan, 2005. Pemetaan dan Pengkajian Galian Golongan C di Kecamatan Astanajapura Kabupaten Cirebon Provinsi Jawa Barat. Cirebon: Dinas LHK&P.
- Diposaptono S., & Budiman, 2008. Hidup Akrab dengan Gempa dan Tsunami. Penerbit Buku Ilmiah Populer Bogor.
- Diposaptono, S., Nizam dan Asvaliantina, V., 2001. Erosi pantai dan klasifikasinya, kasus di Indonesia. *Prosiding Konferensi Energi, Sumberdaya Alam dan Lingkungan 2001*, L- 11-21.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. 2006. Perubahan Iklim, Perjanjian Paris dan Nationally Determined contribution. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Direktorat Konservasi dan Keanekaragaman Hayati Laut. 2016. Panduan Pemantauan Pemutihan Karang.
- Dow, D. B., & Sukamto, R., 1984. Western Irian Jaya: the end-product of oblique plate convergence in the late Tertiary. *Tectonophysics*, 106(1-2), 109-139.
- Dpipwe.tas.gov.au. Diakses pada tanggal 22 Mei 2019. <https://dpipwe.tas.gov.au>.
- Esdm.go.id. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/menguak-potensi-batubara-metalurgi-batubara-dengan-harga-jual-tinggi>.
- EPA, 2016: Climate Change Indicators in the United States, 2016. 4th edition. EPA 430-R16-004. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 96 pp.
- Fadlan, A., Aror, R. D., Sugianto, D. N., Zainuri, M. 2017. Monthly Variation Characteristics of Wave Height in North Sulawesi. *Waste Technology* 5(1): 21-26. doi: <http://dx.doi.org/10.12777/wastech.5.1.21-26>.
- Falkland, A., 1995. Hydrogeology and Water Resources of Small Island: a Partical Guide. UNESCO

- Falkland, C. Anthony., 1991. Hydrology and Water Resources of Small Island: A Practical Guide. Paris: UNESCO.
- Falkland, C. Anthony., 1992. Small Tropical Island: Water Resources of Paradises Lost. Paris: UNESCO.
- Falkland, C. Anthony., 1993. Hydrology and Water Management in Small Tropical Island. *Proceeding of The Yokohama Symposium on Hydrology on Warm Humid Regions*.
- FAO. 2013. Climate-Smart Agriculture Sourcebook.
- FAO. 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. Rome, Italy.
- FAO. 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. Rome, Italy.
- Feng, M., & Meyers, G. 2003. Interannual variability in the tropical Indian Ocean: a two-year time scale of Indian Ocean Dipole. *Deep Sea Res.* 50, 2263–2284. doi:10.1016/s0967-0645(03)00056-0.
- Fletcher, S.E.M., N. Gruber., A.R. Jacobson., S.C. Doney., S. Dutkiewicz., M. Gerber., M. Follows., F. Joos., K. Lindsay., D. Menemenlis., A. Mouchet., S. A. Muller and J.L. Sarmiento. 2006. Inverse Estimates of Anthropogenic CO₂ Uptake, Transport and Storage by the Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 20. Doi:10.1029/2005GB002530
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2008. Climate Change and Food Security in Pacific Island Countries. Roma: FAO.
- Franck, T.R. 2009. Coastal Communities and Climate Change: A Dynamic Model of Risk Perception, Storms, and Adaptation. *Ph.D. Thesis*, Technology, Management, and Policy; Engineering Systems Division, MIT (<http://globalchange.mit.edu/publication/13781>)
- Fritz, H. M., Kongko, W., Moore, A., McAdoo, B., Goff, J., Harbitz, C., Titov, V., 2007. Extreme runup from the 17 July 2006 Java tsunami. *Geophysical Research Letters*, 34(12).
- Garcia H.E., T.P. Boyer, O.K. Baranova, R.A. Locarnini, A.V. Mishonov, A. Grodsky, C.R. Paver, K.W. Weathers, I.V. Smolyar, J.R. Reagan, D. Seidov, M.M. Zweng. 2019. World Ocean Atlas 2018: Product Documentation. A. Mishonov, Technical Editor. NOAA.
- Geomagz.geologi.esdm.go.id. Dekade Teror Gempa Sumatra. Diakses pada tanggal 22 Mei 2019. (<http://geomagz.geologi.esdm.go.id/dekade-teror-gempa-sumatra/>).
- Giri C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. & Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecol. Biogeography*, 20, 154–159.
- Glynn P.W., Manzello D.P. 2015. Bioerosion and Coral Reef Growth: A Dynamic Balance. In: Birkeland C. (eds) *Coral Reefs in the Anthropocene*. Springer, Dordrecht

- Gobler, C.J. 2020. Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and Perspective. *Harmful Algae*. Volume 91, January 2020, 101731
- Gordon, A. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas. *Oceanography* 18(4): 13–13.
- Gordon, A. L., Ffield, A., & Ilahude, A. G. 1994. Thermocline of the Flores and Banda seas. *J. Geophys. Res.* 99(C9): 18235– 18242. doi:10.1029/94JC01434.
- Gordon, A. L., R. D. Susanto, A. Ffield, B. A. Huber, W. Pranowo, & S. Wirasantosa. 2008. Makasar strait throughflow, 2004 to 2006. *Geophys. Res. Lett.* 35, L24605. doi:10.1029/2008GL036372.
- Gordon, A., J. Sprintall, H. M. Van Aken, D. Susanto, S. Wijffels, R. Molcard, A. Ffield, W. Pranowo, & S. Wirasantosa. 2010. The Indonesian Throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT program. *Dyn. Atmosph. Ocean* 50(2): 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002>.
- Green, D., Alexander, L., McInnes, K. et al. 2010. An assessment of climate change impacts and adaptation for the Torres Strait Islands, Australia. *Climatic Change* 102, 405–433. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9756-2>
- Griffith, A.W and C.J. Gobler. 2020. Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems. *Harmful Algae*. Volume 91, January 2020, 101590
- Grimsditch, Gabriel D. and Salm, Rodney V. 2006. Coral Reef Resilience and Resistance to Bleaching. IUCN, Gland, Switzerland. 52pp.
- Gultom, F., G. Harsono, W.S. Pranowo, D. Adrianto. 2017. Sistem Informasi Pasang Surut Berbasis Android di Wilayah Kerja Pangkalan TNI Angkatan Laut (Studi Kasus Belawan, Taremap, Sibolga, Natuna dan Cilacap). *J. Chart Datum* 02(03): 36-46.
- Gunawan, E., Kholil, M., Meilano, I., 2016. Splay-flaut rupture during the 2014 Mw 7.1 Molucca Sea, Indonesia, earthquake determined from GPS measurements. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 259, 29-33.
- Guo, P., Li, J., Wang, Y. 2014. Numerical Simulations of Solar Chimney Power Plant With Radiation Model. *Renewable Energy*, 62: 24-30.
- Gutknecht, E., Reffray, G., Gehlen, M., Triyulianti, I., Berlianty, D., & Gaspar, P. 2015. Evaluation of an operational ocean model configuration at 1/12_ spatial resolution for the Indonesian seas (NEMO2.3/INDO12) – Part 2: Biogeochemistry. *Geosci. Model Dev. Discuss.* 8, 6669–6706. doi:10.5194/gmdd-8-6669-2015.
- Hadi, A. U., 2014. Potensi dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi di Indonesia. MTG, 1(2).
- Hadikusuma. 2010. Massa air Subtropical diperaian Halmahera. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 2(2): 92-108.

- Hall, R. & Blundell, D., 1996. Tectonic Evolution of Southeast Asia, *Geological Society Special Publication* No.106, pp. vii-xiii.
- Hall, R., 2012. Late Jurassic-Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics* 570-571: 1-41.
- Hamilton, W.R. 1979. Tectonics of the Indonesian Region, US Geological Survey. Professional Paper 1078, 345 pp
- Hanifa, N. R., Sagiya, T., Kimata, F., Efendi, J., Abidin, H. Z., Meilano, I., 2014. Interplate coupling model off the southwestern coast of Java, Indonesia, based on continuous GPS data in 2008-2010. *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 159-171.
- Harley, C.D.G., A. R. Hughes, K. M. Hultgren, B.G. Miner, C. J. B. Sorte, C.S. Thornber, L.F. Rodriguez, L. Tomanek, and S. L. Williams. The Impacts of Climate Change in Coastal Marine Systems. 2006. *Ecology Letters*, 9: 228–241 doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x
- Hartono, H. M. S. & Tjokrosapoetro, S., 1986. Geological evolution of the Indonesian Archipelago. *Geol. Soc. Malaysia Bulletin*, Vol. 20, p.97-136.
- Hehanusa, P. E., 1987. Sumber Daya Air di Pulau Kecil, Riset, Jilid 8, No.1, April 1987.
- Hehanusa, P. E., 1992. Metode Pengelolaan Sumber Daya Air di Pulau Berukuran Kecil. Proseding, Symposium 25 Years Hydrogeological Development in Indonesia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia-Puslitbang Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Heryati, H., W.S. Pranowo, N.P. Purba, A. Rizal, & L.P.S. Yuliadi. 2018. Sea surface temperature variability during ENSO Incident (1997-1998 & 2014-2015) in Java Sea, Indonesia. *J. Omni-Akuatika* 14(1): 96-107. DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.oa.2018.14.1.207>.
- Herzog, H., K. Caldeira and E. Adams, Carbon Sequestration via Direct Injection. 2001. In J H Steele, S A Thorpe and K K Turekian (eds) *Encyclopedia of Ocean Sciences* Vol. 1, pp 408-414. London, UK: Academic Press.
- Hidayat, N., & Santoso, E.W., 2014. Gempa Bumi dan Mekanismenya. *Alami*, 2(3).
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate Change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50(8), 839 - 866
- Hoegh-Guldberg, O. 2014. Coral Reef Sustainability Through Adaptation: Glimmer of Hope or Persistent Mirage? *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 7, P.127-133
- Holthuijsen, L. 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press. ISBN: 978-0-511-27021-5. Pages: xv+379.
- Houghton J.T., L.G.M. Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, & K. Maskell. 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E., (Eds). 2015. Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, Arlington, VA, USA.
- [Http://marinebio.org/oceans/marine-zones/](http://marinebio.org/oceans/marine-zones/)
- Hutchison, C. S. 1989. Geological evolution of South-east Asia (Vol. 13, p. 368). Oxford: Clarendon Press.
- Id.wikipedia.org. Diakses pada tanggal 24 Juli 2019. https://id.wikipedia.org/wiki/Cincin_Api_Pasifik).
- Ilman, M., P. Dargusch, P. Dart, Onrzal. 2016. A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangrove. *Land Use Policy*. (54): 448-459
- Ilmugeografi.com. Diakses pada tanggal 25 Juli 2019. <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/laut/penampang-dasar-laut>.
- Indonesia-investments.com. Diakses pada tanggal 24 Juli 2019. <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/gas-alam/item184>).
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- Irianto, H.E., & Giyatmi, S., 2009. Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan. Penerbit Universitas Terbuka, Jakarta. p. 7. 1– 7.51.
- Jackson, C. 2007. Internal wave detection using the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer MODIS. *J. Geophys. Res.* 112(C11): C11012.
- Jamalludin, K.I. Fatoni, T.M. Alam, W.S. Pranowo. 2016. Identifikasi Banjir Rob Periode 2013 – 2015 Di Kawasan Pantai Utara Jakarta. *J. Chart Datum* 2(2): 1-11.
- Johnson, D. W., 1919, Shore Processes and Shoreline Development, New York, John Wiley & Sons, 584pp.
- Johnson, R.W., Knutson, J., & Taylor, S.R. (Eds.) . 1989. Intraplate volcanism: in eastern Australia and New Zealand. Cambridge University Press.
- Kabarnagari.com. Diakses pada tanggal 25 Juli 2019. <https://www.kabarnagari.com/2018/10/alat-pendeteksi-tsunami-di-sumbar-berfungsi-dengan-baik.html>.
- Kadariusman, Hardianti F. Aprini, Pulung A. Prabowo, Sri Hardianti, Nadia H. Aditia, Acacia Z. A. Mourniaty, Alifa E. Nuringtyas, Fadilah, Faathirrajaf Trisnawan, I W. Y. Suryana, Kurnia D. Riadi, Mutiara I. Nurwani, Basan Hulianto, Srinindya G. Utomo, Muhammad F. Mursyid, Agung Srisadono, Ali Akbar, Alya P. Larasati, Andi, Angga Arifianto, Arleine S. Wardhani, Chintia F. Luandariya, Citra T. Sari, Zulkifli, Dewa G. Mahardana, Eka Nursulistiyani, Fakhrol I. Nasution, Fathur Haris, Fitri Damayanti, Futra Septian, Ikhsan Maulana, Ilham Mulyana, Isnendar P. Sudrajat, Lilis Maemunah, Mei R. U. Pasaribu, Monalisa M. Maliangkay, Novira Farhandika, Rezky N. Balukh, Salman A. Muzakki, Siti Rohmah, Sri P. Merdekawati, Wandha I. Chairunissa, Waode Israwati, Agung Ardiyan, Amtia Moonazia, Anang M. Zulfikar, Ardy F. Nugiyantoro, Avi Ardiyantoro, Boma N. Hafidh, Desi Arumsari, Dewanda, Diah Puspa, Dwi R. R. Putri, Ester A. M. Sitanggang, Fakhrol Fauzi, Fidya R. Maherzi, Fratiwi R. Bandaso, Gani Gaffari, I D. A. E. A. Ardiani, Ilham D. Nurzaman, Indah Febrianti, Isviana D. Karyati, Keffas L. J. M. Pardede, Lilyani G. Herawati, Meuthia M. Kanedi, Pistar A. Ramadhan, Rahmasari G. Pertiwi, Rizki A. Hidayat, Selvi Febriyanti, Ulfa Fitriyan, Winda Br Nainggolan, Delio D. Costa, Ratna Suharti, Basuki Rachmad. 2019. ICC Indonesia: A National Recorder of the Impacts Climate Change on Aquatic Ecosystems. Google-Android application. Sekolah Tinggi Perikanan, Jakarta.
- Kadariusman, Hardianti F. Aprini, Pulung A. Prabowo, Sri Hardianti, Nadia H. Aditia, Acacia Z. A. Mourniaty, Alifa E. Nuringtyas, Fadilah, Faathirrajaf Trisnawan, I W. Y. Suryana, Kurnia D. Riadi, Mutiara I. Nurwani, Basan Hulianto, Srinindya G. Utomo, Muhammad F. Mursyid, Agung Srisadono, Ali Akbar, Alya P. Larasati, Andi, Angga Arifianto, Arleine S. Wardhani, Chintia F. Luandariya, Citra T. Sari, Zulkifli, Dewa G. Mahardana, Eka Nursulistiyani, Fakhrol I. Nasution, Fathur Haris, Fitri Damayanti, Futra

- Septian, Ikhsan Maulana, Ilham Mulyana, Isnendar P. Sudrajat, Lilis Maemunah, Mei R. U. Pasaribu, Monalisa M. Maliangkay, Novira Farhandika, Rezky N. Balukh, Salman A. Muzakki, Siti Rohmah, Sri P. Merdekawati, Wandha I. Chairunissa, Waode Israwati, Agung Ardiyan, Amtia Moonazia, Anang M. Zulfikar, Ardy F. Nugiyantoro, Avi Ardiyantoro, Boma N. Hafidh, Desi Arumsari, Dewanda, Diah Puspa, Dwi R. R. Putri, Ester A. M. Sitanggang, Fakhrul Fauzi, Fidya R. Maherzi, Fratiwi R. Bandaso, Gani Gaffari, I D. A. E. A. Ardiani, Ilham D. Nurzaman, Indah Febrianti, Isviana D. Karyati, Keffas L. J. M. Pardede, Lilyani G. Herawati, Meuthia M. Kanedi, Pistar A. Ramadhan, Rahmasari G. Pertiwi, Rizki A. Hidayat, Selvi Febriyanti, Ulfa Fitriyan, Winda Br Nainggolan, Delio D. Costa, Ratna Suharti, Basuki Rachmad (2019). ICC Indonesia: A national recorder of the impacts climate change on aquatic ecosystems. Google-Android application. Sekolah Tinggi Perikanan, Jakarta.
- Kanalsatu.com.Potensi Energi Panas Bumi. Diakses pada tanggal 26 Juli 2019. <http://kanalsatu.com/id/post/296/potensi-energi-panas-bumi-indonesia-capai-29-000-mw/>.
- Kartadikaria, A. R., Miyazawa, Y., Varlamov, S. M., & Nadaoka, K. 2011. Ocean circulation for the Indonesian seas driven by tides and atmospheric forcings: Comparison to observational data. *J. Geophys. Res.:Oceans* 116(9):1–21.
- Katili, J. A., & Sudradjat, A. 1984. The devastating 1983 eruption of Colo volcano, Una–Una Island, central Sulawesi, Indonesia. *Geol Jahrb*, 75, 27-47.
- Kepel, T. L., Restu Nur Afi Ati, Yusmiana Puspitaningsih Rahayu, N.S. Adi. 2018. Pengaruh Alih Fungsi Kawasan Mangrove Pada Sifat Sedimen dan Kemampuan Penyimpanan Karbon. *Jurnal Kelautan Nasional*, Vol 13, No 3, 145-153.
- Khromov, S.P.K. 1957. To a problem of climate continentality. *Izvestiya Vsesoyuznogo Geograficheskogo Obshchestva* 89(3): 221–225.
- King, C. A., 1953. The relationship between wave incidence, wind direction and beach changes at Marsden Bay, County Durham. *Transactions and Papers* (Institute of British Geographers), 13-23.
- Kious, Jacquelyne, & Robert Tilling., 2001. This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics. Washington: U.S. Government Printing Office.
- Kiswara, W., 2009. Perspektif Lamun dalam Produktivitas Hayati Pesisir. dalam Lokakarya Nasional I Pengelolaan Ekosistem Lamun. Jakarta.
- Klein, R.J.T., S. Huq, F. Denton, T.E. Downing, R.G. Richels, J.B. Robinson, F.L. Toth, 2007: Inter-relationships between adaptation and mitigation. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 745-777.

- KLH. 2014. Status Lingkungan Hidup Indonesia tahun 2013.
- Koch-Larrouy, A., Lengaigne, M., Terray, P., Madec, G., & Masson, S. 2010. Tidal mixing in the Indonesian seas and its effect on the tropical climate system. *Climate Dynamics* 34(6): 891–904.
- Koch-Larrouy, A., Madec, G., Bouruet-Aubertot, P., Gerkema, T., Bessi`eres, L., & Molcard, R. 2007. On the transformation of Pacific Water into Indonesian Throughflow Water by internal tidal mixing. *Geophys. Res. Lett.* 34(4):1–6.
- Koch-Larrouy, A., Madec, G., Iudicone, D., Atmadipoera, A., & Molcard, R. 2008. Physical processes contributing to the water mass transformation of the Indonesian throughflow. *Ocean Dynamics* 58(3-4): 275–288.
- Kominfo.jatimprov.go.id. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019. <http://kominfo.jatimprov.go.id>.
- Kommalapati, Raghava & Kadiyala, Akhil & Shahriar, Md Tarkik & Huque, Ziaul. 2017. Review of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Different Photovoltaic and Concentrating Solar Power Electricity Generation Systems. *Energies*. 10. 350. 10.3390/en10030350.
- Kumparan.<https://kumparan.com>. Diakses tanggal 20 Juni 2019.
- Kunarso, N. Ningsih, & A. Supangat. 2012. Karakteristik Upwelling di Sepanjang Perairan Selatan NTT Hingga Barat Sumatera. ILMU KELAUTAN: *Indonesian Journal of Marine Sciences* 10(1): 17-23. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.10.1.17-23>.
- Kunarso., S. Hadi., Nining Sari Ningsih dan A. Supangat. 2009. *Upwelling* dan Fishing Ground Tuna di Laut Nusantara. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Kurniawan, M.F.A.K. dan J. Sartin (editor). 2016. Panduan Pemantauan Pemutihan Karang. Direktorat Konservasi dan Keanekaragaman Hayati Laut. Direktorat Jendral Pengelolaan Ruang Laut. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Kurniawan, R., Habibie, N.M., Suratno. 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 12(3): 221 – 232.
- Kurniawan, R., Khotimah, K.M. 2015. Ocean Wave Characteristics in Indonesian Waters for Sea Transportation Safety and Planning. IPTEK: *The Journal for Technology and Science* 26(1): 19-27.
- Kuswardani, R. T. D., & Qiao, F. 2014. Influence of Indonesian Throughflow on the upwelling off the east coast of South Java. *Chin. Sci. Bull.* 59, 4516–4523. doi:10.1007/s11434-014-0549-2.
- Kuswardani, R. T. D., Pranowo, W.S., Hanayashashi, W., Annisa, M., Saepuloh, D., 2015. Indonesia Ocean Forecasting System. Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. <http://pusriskel.litbang.kkp.go.id> [akses 16 Juni 2019].

- Lefevre, N., J. Aiken., J. Rutllant., G. Daneri., S. Lavender and T. Smyth. 2002. Observations of pCO₂ in the Coastal Upwelling off Chile: Spatial and Temporal Extrapolation Using Satellite Data. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. C6, 3055, 10.1029/2000jc000395.
- Lewis, A., S. Estefen, J. Huckerby, W. Musial, T. Pontes, J. Torres-Martinez, 2011: Ocean Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Mamenun. 2013. Pengembangan model Penduga Curah Hujan Bulanan menggunakan Data Satelit TRMM pada Tiga Pola Hujan di Indonesia. Tesis. FMIPA, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Marcos-López, M., P. Gale, B. C. Oidtmann, E. J. Peeler. 2010. Assessing the Impact of Climate Change on Disease Emergence in Freshwater Fish in the United Kingdom. *Transboundary and Emerging Diseases*, Volume 57, Issue 5, p.293-304.
- Masson-Delmotte, Valerie; Schulz, Michael; Abe-Ouchi, Ayako; Beer, Jürg; Ganopolski, Andrey; González Rouco, Jesus Fidel; Jansen, Eystein; Lambeck, Kurt; Luterbacher, Jürg; Naish, Timothy R; Osborn, T; Otto-Bliesner, Bette L; Quinn, Terrence Michael; Ramesh, Rengaswamy; Rojas, Maisa; Shao, XueMei; Timmermann, Axel. 2013. Information from Paleoclimate Archives. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.828636>
- McLeod, Elizabeth and Salm, Rodney V. 2006. Managing Mangroves for Resilience to Climate Change. IUCN, Gland, Switzerland. 64pp
- Milliman, J. D and J. P. M. Syvitski. 1992. Geomorphic / Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: the Importance of Small Mountainous Rivers. *J. Geol.*, 100, 525– 544.
- Mulyadi, Y. 2014. Potensi cagar budaya bawah air. Bahan ajar Arkeologi Maritim Jurusan Arkeologi, Fakultas Sastra, Universitas Hasanuddin. 16 p.
- Monastersky, R., 1999. Seabed slide blamed for deadly tsunami. *Sciences News*, v. 156, n. 7, p. 100. [http://www.sciencenews.org/pages/sn_arc99/8_14_99/fob2.htm]. Akses: 13 Juli 2019.
- Moore, J.K., M.R. Abbottt, J.G. Richman and D.M. Nelson. 2000. The Southern Ocean at the Last Glacial Maximum: A Strong Sink for Atmospheric Carbon Dioxide. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.14, No.1, 455-475.
- Mori, J., Mooney, W. D., Kurniawan, S., Anaya, A. I., Widiyantoro, S., 2007. The 17 July 2006 tsunami earthquake in west Java, Indonesia. *Seismological Research Letters*, 78(2), 201-207.

- Morley JW, Selden RL, Latour RJ, Frölicher TL, Seagraves RJ, Pinsky ML. 2018 Projecting shifts in thermal habitat for 686 species on the North American continental shelf. *PLoS ONE* 13(5): e0196127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196127>
- Muldiyatno, F., E. Djunarsjah, D. Adrianto, W.S. Pranowo. 2016. Kajian Awal Perubahan Muka Air Sungai untuk Penentuan Datum Peta (Studi Kasus Sungai Musi Palembang). *J. Chart Datum* 01 (02): 36-42.
- Muliati, Y., R.L. Tawekal, A. Wurjanto, J. Kelvin, & W.S. Pranowo. 2018. Application of SWAN Model for Hindcasting Wave Height in Jepara Coastal Waters, North Java, Indonesia. *International Journal of GEOMATE* 15(48): 114-120. <https://doi.org/10.21660/2018.48.56067>.
- Mulyadi, Y., 2014. Potensi cagar budaya bawah air. Bahan ajar Arkeologi Maritim Jurusan Arkeologi, Fakultas Sastra, Universitas Hasanuddin. 16 p.
- Mulyana, W., & Salahuddin M., 2009. Morfologi Dasar Laut Indonesia. Puslitbang Geologi Kelautan (PPPGL), Dep. ESDM, Bandung.
- Mustikasari, E., L.C. Dewi, A. Heriati, & W.S. Pranowo. 2015. Pemodelan Pola Arus Barotropik Musiman 3 Dimensi (3D) Untuk Mensimulasikan Fenomena Upwelling di Perairan Indonesia. *J. Segara* 11(1): 25-35.
- Nagai, T. & Hibiya, T. 2015. Internal tides and associated vertical mixing in the Indonesian Archipelago. *J. Geophys. Res.: Oceans*, 3373–3390. <https://doi.org/10.1002/2014JC010592>.
- Najoan, Th. F., Soeroso, D. & Rukhijat, S., 1996. “Peta Zona Gempa Dan Cara Penggunaannya Sebagai Usulan Dalam Perencanaan Bangunan Pengairan Tahan Gempa”, *Jurn. Litbang Air*, no. 36, Th.II-KW1.
- Natalia, Eka P., Taufiq Andhika , Roid Faqih M., Dharmaleksa S.E.P, Ade AkhyarNurdin , Belly Dharana Kertiyasa, Novianto Dwi Nugrohao, Bayu Hari Utomo. (2010).”Geologi Pulau Jawa”. Univesitas Jenderal Soedirman: Purbalingga.
- Natureinjapan.wordpress.com. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019. <https://natureinjapan.wordpress.com/about/living-with-the-forces-of-nature/earth-fire-above-the-pacific-ring-of-fire-lies-japan/>.
- Nishimura, S., & Suparka, S., 1986. Tectonic development of east Indonesia. *Journal of Southeast Asian earth sciences*, 1(1), 45-57.
- Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, and A. Villamizar, 2014: Adaptation needs and options. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 833-868.
- Neumann, G and Pierson, W.J. 1966. *Principles of Physical Oceanography* . Prentice Hall. Inc., a Simon and Schuster Company. Englewood Cliffs. New Jersey.

- Nugroho, D., Koch-Larrouy, A., Gaspar, P., Lyard, F., Reffray, G., & Tranchant, B. 2017. Modelling Explicit tides in the Indonesian Seas: an important process for surface sea water properties. *Mar. Poll. Bull.* 131(B): 7-18. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.033>.
- Nybakken, J.W. 1992. Biologi Laut suatu Pendekatan Ekologis. PT Gramedia, Jakarta.
- P3SDLP-Balitbang KP, 2015. Identifikasi Potensi Ekonomi Sumberdaya Laut dan Pesisir di Pulau Laut, Kabupaten Natuna. Laporan Akhir Riset TA 2015. (Tidak dipublikasi). Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pesisir. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. KKP. Jakarta
- Painter, J and T. Ashe. 2012. Cross-national comparison of the presence of climate scepticism in the print media in six countries, 2007–10. *Environ. Res. Lett.* 7 (4): 044005.
- Parker, RPM, Harrison, G & Chick, J. 2007. Energy and Carbon Audit of an Offshore Wave Energy Converter. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: *Journal of Power and Energy*, vol. 221, pp. 1119-1130. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE483>
- Pemerintah Republik Indonesia Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan bencana.
- Pendelton, L., Donato, D.C., Murray, B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Marba, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D. & Baldera, A. 2012. Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9): e43542. DOI:10.1371/journal.pone.0043542
- Pengertianmenurutparaahli.net. Diakses pada tanggal 21 Mei 2019. <https://pengertianmenurutparaahli.net/pengertian-garis-weber-dan-wallace/>.
- Poloczanska ES, Brown CJ, Sydeman WJ, Kiessling W, Schoeman DS, Moore PJ, et al. Global imprint of climate change on marine life. *Nat Clim Chang.* 2013; 3:919–925.
- Pranowo, W. 2018. Tumpahan Minyak di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI): Potensi Sumber Karsinogenik. *Buletin Hidrografi Indonesia* 1(1): 09-10.
- Pranowo, W.S. & S. Wirasantosa. 2011. Tidal regims of Arafura & Timor Seas. *Journal of Marine Research in Indonesia* 36(1): 21-28
- Pranowo, W.S. 2010. Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia, Sudahkah Cukup Memadai?. Bab dalam Buku “Konsep dan Aplikasi Teknologi Perlindungan Pantai”. ISBN: 978-979-3592-34-3. halaman: 87-99.
- Pranowo, W.S. 2012. Dinamika Upwelling dan Downwelling di Laut Arafura dan Timor. *Widya Riset* 15(2): 415-424.

- Pranowo, W.S. 2014. Fenomena di Laut Selatan Jawa Tersebut Kami Beri Nama "RATU". Article in Rubrik Maritime Opinion, *Indonesia Maritime Magazine*, Edisi 44/Tahun IV/ Juni 2014, Halaman 44-45. ISSN: 2087-8060.
- Pranowo, W.S. 2014b. Akuisisi Profil Massa Air Samudra Menggunakan Robot. Article in Rubrik Maritime Opinion, *Indonesia Maritime Magazine*, Edisi 43/Tahun IV/ Mei 2014, Halaman 44-45. ISSN: 2087-8060.
- Pranowo, W.S., A. Tussadiah, M.L. Syamsuddin, N.P. Purba, I. Riyantini. 2016. Karakteristik dan Variabilitas Eddy di Samudra Hindia Selatan Jawa. *J. Segara* 12(3): 159-165.
- Pranowo, W.S., A.R. Tisiana Dwi Kuswardani, T.L. Kepel, U.R. Kadarwati, S. Makarim, S. Husrin. 2006. Ekspedisi INSTANT 2003-2005: Menguk Arus Lintas Indonesia. ISBN: 979-3768-06-1.
- Pranowo, W.S., A.R.T.D. Kuswardani, B. Nugraha, D. Novianto, U. Muawanah, H. Prihatno, W. Yu. 2016. Ocean-Climate Interaction of South Eastern Indian Ocean for Tuna Fisheries & Its Socio-Economy Impacts. *International Journal of Science & Research* 5(4): 1956-1961.
- Pranowo, W.S., H. Phillips, S. Wijffels. 2005. Upwelling Event 2003 Along South Java Sea & The Sea of Lesser Sunda Islands. *J. Segara* 1 (3): 116-123
- Pranowo, W.S., T.R. Adi, S. Makarim, & N.N. Hasanah. 2012. Marine & Climate Research Contributions to the National Program on Climate Change Adaptation & Mitigation. *Procced. The International Workshop on Climate Information Services in Supporting Mitigation & Adaptation to Climate Change in Transportation & Tourism*. 15-16 May 2012. ISBN:978-602-19508-3-8. p.76-79.
- Pranowo., W.S., C.D. Puspita, R. Bramawanto, R.A. Adi, & A.R.T.D. Kuswardani. 2014. Dinamika Arus Dalam Mendukung Perikanan Budidaya Laut di Teluk Bone. *J. Harpodon Borneo* 7(2): 135-152.
- Prastianto, R.W., 2008. Catatan Perjalanan Belajar Rekyasa Kelautan (Techno Ocean 2006). www.beritaipetek.com [25 September 2009].
- Prasetyaningsih, E., 2008. Industri garam (NaCl). <http://kuliah.wikidot.com/garam>. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019.
- Prawiwardoyo, S. 1996. Meteorologi. Penerbit ITB.
- Purba, M. 2007. Dynamics of south off Java-Sumbawa Island in Southeast Monsoon. *Torani Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan* 2:140–150 (in Indonesian).
- Purba, N.P., & W. Pranowo. 2015. Dinamika Oseanografi, Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Air Laut. UNPAD Press. ISBN: 978-602-0810-20-1. 276 halaman.
- Purbani, D., 2000. Proses pembentukan kristalisasi garam. www.oocities.com/trisaktigeology84/Garam.pdf. Diakses pada tanggal 23 Juni 2019.

- Pusat Riset Wilayah laut dan Sumberdaya Non Hayati. 2005. Laporan Perjalanan Instant Cruise leg 3. PRWLSNH-BRKP-DKP. Jakarta. (tidak dipublikasikan)
- Pusat Studi Gempa Nasional (Pusgen), 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung. Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Pusdatin KKP 2019.
- Puspito, N. T., & Shimazaki, K., 1995. Mantle structure and seismotectonics of the Sunda and Banda arcs. *Tectonophysics*, 251(1-4), 215-228.
- Rachmayani, R., Ningsih, N.S., Ramadhan, H., Nurfitri, S. 2018. Analysis of ocean wave characteristic in Western Indonesian Seas using wave spectrum model. MATEC Web of Conferences 147, 05001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814705001>.
- Rahardjo dkk. 2011. Pengelolaan Warisan Budaya di Indonesia, Penerbit Lubuk Agung, Bandung
- Rainer Arief Troa, Ira Dillenia, and Eko Triarso. 2018. Preserving Underwater Cultural Heritage Sites in the Natuna Islands, Indonesia: A Multidisciplinary Approach to Utilization towards a Marine Eco-Archaeological Park. *Advancing Southeast Asian Archaeology 2016, Selected Papers from the Second SEAMEO SPAFA International Conference on Southeast Asian Archaeology*. Editor: Noel Hidalgo Tan. 2018 SEAMEO SPAFA. 203-214p. ISBN 978-616-7961-17-0, ISBN 978-616-7961-16-3 (e-book).
- Ramage, C.S. 1971. Monsoon Meteorology. Academic Press, New York, 296 p.
- Ratnasari, S.L., S. Harahap, S. Sunarto, N. Purba, W. Pranowo. 2017. Variabilitas ENSO Terhadap Arus Pusaran Dan Sebaran Ikan Cakalang di Wilayah Pengelolaan Perikanan 713. *J. Harpodon Borneo* 10(02): 23-37.
- Ratnawati, H. I., 2017. Variabilitas Evaporasi-Presipitasi dan Salinitas di Lautan Benua Maritim Indonesia. *Tesis*. FMIPA, Magister Ilmu Kelautan, Universitas Indonesia.
- Raven, J.A and Falkowski, P.J. 1999. Oceanic Sinks for Atmospheric CO₂. *Plant, Cell and Environment*, 22, 741-755
- Rhein, M., S.R. Rintoul, S. Aoki, E. Campos, D. Chambers, R.A. Feely, S. Gulev, G.C. Johnson, S.A. Josey, A. Kostianoy, C. Mauritzen, D. Roemmich, L.D. Talley and F. Wang, 2013: Observations: Ocean. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 255–316, doi:10.1017/CBO9781107415324.010.
- Romimohtarto, K dan Juwana, S. 2009. Biologi Laut, Ilmu Pengetahuan tentang Biota Laut edisi 4. Djambatan. Jakarta.

- Rosalina, L., Hendaryanto, E.T. Kurniawaty, F. Mohammad, N.E. Putri, G.H. Pramono, Dheny T.W.S., Y.H. Ramadhani, W. Pranowo, I.F. Suhelmi, D. Purbani, H.Y. Siry, Mahdan, O.N. Marwayana, Y. Darlan, Y. Permanawati, A. Sudaryanto, M. Hutomo, H.A. Susanto, E. riani, M. Khazali. 2013. Deskripsi Peta Ekoregion Laut Indonesia. ISBN: 978-602-8773-10-2. 228 hlm.
- Rustam A. 2014. Kontribusi Lamun dalam Regulasi Karbon dan Stabilisasi Ekosistem. Disertasi. FPIK. IPB. 144 pp
- Rustam, A. N.S. Adi, D. Purbani, E. Mustikasari. 2013. Parameter Sistem Karbon di Teluk Banten Kaitannya Dengan Kesuburan Perairan. Proceeding Senta 2012. Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan.
- Sabine, C.L., R.A. Feely., N. Gruber., R.M. Key., K. Lee., J.L. Bullister., R. Wanninkhof., C.S. Wong., D.W.R. Walles., B. Tilbrook., F.J. Millero., T.H. Peng., A. Kozyr., T. Ono and A.F. Rios. 2004. The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science*, 305, 367–371
- Safitri, M., Cahyarini, S.Y., Putri, M.R. 2012. Variasi Arus Arlindo dan Parameter Oseanografi di Laut Tomir Sebagai Indikasi Kejadian ENSO. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 4(2): 369-377.
- Sagala, S. L., Bramawanto, R., Suhelmi, I. R., Triwibowo, H., 2015. Penggunaan Geomembran Dalam Produksi Garam. Buku. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan KKP.
- Sagala, S.L., R. Bramawanto, A.R.T.D. Kuswardani, W.S. Pranowo. 2014. Distribution of Heavy Metals in Natuna Coastal Waters. *J. Ilmu & Teknologi Kelautan Tropis* 6(2): 297-310.
- Saputra, E.P.A., W.S. Pranowo, A.P. Wiryawan, D. Adrianto. 2016. Pengaruh Sound Velocity Terhadap Pengukuran Kedalaman Menggunakan Multibeam Echosounder di Perairan Surabaya. *J. Chart Datum* 2 (2): 53-68.
- Satunegeri.com. Diakses pada tanggal 24 Juni 2019. <http://satunegeri.com/peta-cadangan-minyak-bumi-indonesia/>.
- Satyana A. H. and M. E. M. Purwaningsih, 2011. Collision of micro-continents with Eastern Sulawesi: Records from uplifted reef terraces and proven-potential petroleum plays. Proceedings, *Indonesian Petroleum Association*. 35th Annual Convention Proceedings, IPA11-G-219
- Seno, T., Stein, S., & Gripp, A. E., 1993. A model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and geological data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98(B10), 17941-17948.
- Setyawan, W. B., 2007. Bencana geologi di daerah pesisir Indonesia. *Alami*, 12(2), 1-11.
- Shepard, F.P., 1976. Coastal classification and changing coastlines. *Geoscience and Man*, 14:53–64.

- Siedler, G.; Griffies, S.M.; Gould, J.; Church, J.A. (Ed.) 2013. Ocean Circulation and Climate: A 21st Century Perspective. 2nd Edition. International Geophysics Series, 103. Academic Press: Oxford, Amsterdam. ISBN 978-0-12 391851-2. xxiii, 868 pp.
- Simanungkalit, Y.A., W.S. Pranowo, N.P. Purba, I. Riyantini, Y. Nurrahman. 2018. Influence of El Nino Southern Oscillation (ENSO) phenomena on eddies variability in the Western Pacific Ocean. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 176 (1): 012002. doi: 10.1088/1755-1315/176/1/012002.
- Siregar, S.N., L.P. Sari, N.P. Purba, W.S. Pranowo, M.L. Syamsuddin. 2017. Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsoon dan Arlindo pada tahun 2015. *J. Depik* 6(1): 44-59. DOI: 10.13170/depik.6.1.5523.
- Sitourous, P. B. R., 2018. Budaya Kerentanan Kapasitas Masyarakat Kepulauan Mentawai Menghadapai Bencana Gempabumi dan Tsunami. *Jurnal Vokasi Indonesia*.
- Skinner, B. J., & Porter, S. C., 2000. The Dynamic Earth: an introduction to physical geology, 4th edition, John Willey & Sons, Inc., New York, 112 p.
- Smith P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H.H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, R.J. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, S. Rose, U. Schneider, and S. Towprayoon. 2007. Agriculture. In Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer, pp.497–540, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA.
- Smith, W., & Briden, J. C., 1977. Mesozoic and Cenozoic paleocontinental maps. Cambridge Earth Science Series.
- Sofian, I. 2010. ICCSR - Scientific basis: Analysis and Projection of Sea Level Rise and Extreme Weather Events.
- Sofian, I., Wijanarto, A.B. 2010. Simulation of Significant Wave Climatology Using Wavewatch III. *International Journal of Geoinformatics* 6 (4): 13-19.
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J. T., Pujiana, K., & Wijffels, S. E., 2014. The Indonesian seas and their role in the coupled ocean–climate system. *Nature Geoscience* 7(7):487–492.
- Sprintall, J., Wijffels, S., Molcard, R., & Jaya, I. 2009. Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean. *J. Geophys. Res.* 114:C07001. <https://doi.org/10.1029/2008JC005257>.
- Sprintall, J., Wijffels, S., Molcard, R., & Jaya, I. 2010. Direct evidence of the South Java Current system in Ombai Strait. *Dyn. Atmosph. Ocean.* 50(2): 140-156. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2010.02.006>.
- Statistik.kkp.go.id. Diakses pada tanggal 25 Juli 2019. <http://statistik.kkp.go.id/sidatikdev/Berita/Analisis%20Produksi%20Garam/>.

- Stephenson, M. 2013. *Returning Carbon to Nature : Coal, Carbon Capture and Storage*. Elsevier, USA. ISBN: 978-0-12-407671-6
- Stewart, R.H. 2002. *Introduction to physical oceanography. Lecture Notes*. Department of Oceanography, Texas A & M University: 341+viii pp.
- Stokey, N.L. 2001. A quantitative model of the British industrial revolution, 1780–1850. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, Volume 55, Issue 1, P. 55-109.
- Sudaryadi, Agus., 2009. Kapal Jepang yang Tenggelam di Perairan Indonesia pada Perang Dunia II: Varuna Jurnal Arkeologi Bawah Air, Direktorat Jenderal Sejarah dan Purbakala, Departemen Kebudayaan dan Pariwisata, Jakarta.
- Suharsono. 2017. Terumbu karang dan padang lamun Indonesia masih dalam kondisi kurang baik. <http://lipi.go.id/berita/terumbu-karang-dan-padang-lamun-indonesia-masih-dalam-kondisi-kurang-baik/18432> [24 April 2019].
- Sumardi, E., 2009. *Tinjauan Emas Epitermal Pada Lingkungan Vulkanik*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Sumich, J.L., 1992. *An Introduction to the Biology of Marine Life*. 5th edition. WMC Known Publishing.
- Supangat A., T.R. Adi, W.S. Pranowo, & N.S. Ningsih. 2004. Predicting Movement of The Warm Pool, The Salinity Front, and The Convergence Zone in The Western and Central Part of Equatorial Pacific Using a Coupled Hydrodynamical-Ecological Model. *Proceeding The Twelfth OMISAR Workshop on Ocean Models (WOM-12)*, 7-10 September, 2004. Dalian, P.R. china. page: 11-1 – 11-11.
- Supangat, A., dkk., 2006. *Identifikasi dan Inventarisasi Sumber Daya Arkeologi Laut di Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatra Barat*. Jakarta. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non Hayati. Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Supangat, A., S. Nurdjaman, A. Heriati, U.R. Kadarwati, W.S. Pranowo. 2006. *Arus Lintas Indonesia: Review*. ISBN: 979-3768-08-8.
- Suparka, 1994. *Proses Terjadinya Gempa bumi*. Makalah disampaikan sebagai bahan untuk “Jumpa Pers Masyarakatan Iptek”.
- Suparmini, Sriadi Setyawati, Dyah Respati Suryo Sumunar. *Mitigasi Bencana Berbasis Kearifan Lokal Masyarakat Baduy*. *Jurnal Penelitian Humaniora* Vol 19, No 1 April 2014: 47-64.
- Supriyono, W.S. Pranowo, S. Rawi, B. Herunadi. 2015. Analisa dan perhitungan prediksi pasang surut menggunakan metode Admiralty dan metode Least Square (Studi kasus Tarakan dan Balikpapan). *J. Chart Datum* 1(1):8-18.
- Suryanto & Wudianto, 2017. Model Estimasi Konsumsi Bahan Bakar Kapal Ikan Huhate dan Rawai Tuna, *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* Vol. 23 No. 2 Juni 2017 Nomor Akreditasi 653/AU3/P2MI-LIPI/07/2015, e-ISSN 2502 - 6542.

- Suryanto, D. Nugroho, B. Sumiono, K. Susanto, I.T. Hargiyatno, R. Anggawangsa, R.M.A. Akbar, S. Wibowo. 2016_a. Laporan akhir Jejak Karbon Perikanan Tuna Cakalang Tongkol di WPP 572 dan 573. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan. 68 p.
- Suryanto, T.R. Adi, Watupongoh N.N.J., D. Nugroho. dan Akbar M.A., 2016_b. Kebijakan Peningkatan Efisiensi Energi Usaha Penangkapan Tuna Cakalang Tongkol (TCT) di Indonesia Timur Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia Vol. 8 No. 2 November 2016, Nomor Akreditasi 626/AU2/P2ML-LIPI/03-2015, p-ISSN 1979 - 6366, e-ISSN 2502 – 6550.
- Susanto, R.D., Mitnik, L., Zheng, Q. 2005. Ocean Internal Waves Observed in The Lombok Strait. *Oceanography* 18(4): 80-87.
- Synolakis, C. E. and Okal, E. A., 2002. The 1998 Papua New Guinea Tsunami: evidence for an underwater slump. Abstract presented in International Workshop on Tsunami Risk and Its Reduction in the Asia-Pacific Region, Bandung, March 18-19, 2002.
- Tagar.id. Diakses tanggal 18 Juni 2019. <https://tagar.id/enam-alat-deteksi-gempa-andalan-bmkg/>.
- Tapper, N. J., 2002. Climate, climate variability and atmospheric circulation patterns in the maritime continent region. In Bridging Wallace's Line: the environmental and cultural history and dynamics of the Australian-Southeast Asian region (pp. 5-28). Catena-Verlag.
- Taryono., Sofian I., Tisiana, A., Alam, T.A., 2016. Analisis Panjang Dan Tinggi Gelombang Untuk Operasi KRI TNI-AL Di Perairan Indonesia. *J. Chart Datum* 1(2): 72-87.
- Teliandi, D., Djunaedi, O.S., Purba, N.P., & Pranowo, W.S., 2013. Karakteristik Musiman Massa Air di Samudra Hindia Selatan Jawa. *J. Perikanan & Kelautan* 4(4): 191-200.
- The Open University. 2001. Ocean Circulation. 2nd Edition. ISBN: 0-7506-5278-0.
- Thene, 2016. Mitigasi Bencana Gempabumi Berbasis Kearifan Lokal Masyarakat Rote Ndao Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Teori dan Praksis Pembelajaran IPS* Vol 1 No. 2 Oktober.
- Therkalsen, S. 2014. Lecture Six: Global Circulation. <https://www.grossmont.edu/people/scott-therkalsen/physical-geography/lectures/lecture-06.aspx> [akses 24 Mei 2019]
- Trenberth, K.E., Solomon, A., 1994. The global heat balance: heat transports in the atmosphere and ocean. *Climate Dynamics* 10: 107-134.
- Tribunjateng Online, 2017. Banjir di Wilayahnya Tak Kunjung Surut, Kades Sayung Demak Malu Bertemu Warganya. Berita foto, Kamis 2 Maret 2017. diakses 13 Juli 2019. <https://jateng.tribunnews.com/2017/03/02/banjir-di-wilayahnya-tak-kunjung-surut-kades-sayung-demak-malu-bertemu-warganya>.
- Tsunogai, S., S. Watanabe, and T. Sato.1999. Is There A "Continental Shelf Pump" for the Absorption of Atmospheric CO₂? *Tellus, Ser. B*, 51, 701– 712.

- Tussadiah, A., J. Subandriyo, S. Novita, W.S. Pranowo. 2017. Verification of PISCES Dissolved Oxygen Model Using in Situ Measurement in Biak, Rote, and Tanimbar Seas, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing & Earth Sciences* 14(1): 37-46.
- Tussadiah, A., M.L. Syamsuddin, W.S. Pranowo, N.P. Purba, I. Riyantini. 2016. Eddy vertical structure in Southern Java Indian Ocean: Identification using automated eddies detection. *International Journal of Science & Research* 5(3): 967-971.
- Tussadiah, A., W. Pranowo, T.A. Theoyana, J. Subandriyo. 2018. Apakah Yang Dimaksud Dengan Arus Pusaran Laut?. *Buletin Hidrografi Indonesia* 1(1): 12-13.
- Tussadiah, W.S. Pranowo, M.L. Syamsuddin, I. Riyantini, B. Nugraha, D. Novianto. 2018. Characteristic of eddies kinetic energy associated with yellowfin tuna in southern Java Indian Ocean. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 176(1):012004. doi: 10.1088/1755-1315/176/1/012004.
- Usman, N. D., 2014. Endapan Emas Epitermal Dalam Lingkungan Busur Benua. Bandung. Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran. pp.2
- Utamy, R.M., Purba, N.P., Pranowo, W.S., & Suherman, H. 2015. The Pattern of South Equatorial Current and Primary Productivity in South Java Seas. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering* 90(24): 152-156. DOI: 10.7763/IPCBE.2015.V90.24.p.152-156.
- Valentin, H. 1952. Die Küsten der Erde: Beiträge zur allgemeinen und regionalen Küstenmorphologie (No. 246). JP Gotha.
- Valsala, V., Maksyutov, S., & Murtugudde, R. 2011. Interannual to interdecadal variabilities of the Indonesian Throughflow source water pathways in the Pacific Ocean. *J. Phys. Oce.* 41: 1921–1940. doi: 10.1175/2011JPO 4561.1
- Van Bemmelen, R. V., 1949. The geology of Indonesia, vol. 1A. Government printing office, the Hague, 732.
- Van der Lugt, P., G. Vogtländer, J.H. Van der Vegte, J.C. Brezet. 2015. Environmental Assessment of Industrial Bamboo Products - Life Cycle Assessment and Carbon Sequestration. 10th World Bamboo Congress, Korea 2015.
- Van Rijn, L. C. 1998. Principles of Coastal Morphology. Aqua Publications, The Netherlands(aquapublications.nl).
- Verstappen, H. Th., 2013. Garis Besar Geomorfologi Indonesia. Gajah Mada University Press, Yogyakarta. 220 hal.
- Viles, H. & Spencer, T. 1995. Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast. London: Edward Arnold. x + 352 pp.
- Wahyudi, A.J., Afdal, N.S. Adi, A. Rustam, Hadiyanto, S. Rahmawati, A. Irawan, I W. E. Dharmawan, B. Prayudha et al. 2018. Potensi Cadangan dan Serapan Karbon LEkosistem Mangrove dan Padang lamun Indonesia. Intisari Bagi Pengambil Kebijakan, Versi a 1.0/2018. LIPI.

- Wang C, Engels A, Wang Z. 2018. Overview of Research on China's Transition to Low-Carbon Development: The role of cities, Technologies, Industries and the Energy System. *Renewable Sustainable Energy Review*, 81 (1):1350–1364
- Wang, Y.J., H. Cheng, R. L. Edwards, Z. S. An, J. Y. Wu, C.-C. Shen, J. A. Dorale. 2001. A High-Resolution Absolute-Dated Late Pleistocene Monsoon Record from Hulu Cave, China. *Science* 294(5550): 2345-2348. DOI: 10.1126/science.1064618.
- Wardani, R., W.S. Pranowo, & E. Indrayanti. 2013. Struktur vertikal upwelling-downwelling di samudra Hindia Selatan Jawa hingga Selatan Bali berdasarkan salinitas musiman periode 2004-2010. *J. Depik* 2(3): 191-199. DOI: <http://dx.doi.org/10.13170/depik.2.3.994>
- Wardani, R., W.S. Pranowo, & E. Indrayanti. 2014. Variabilitas Salinitas Berkaitan dengan ENSO dan IOD di Samudra Hindia (Selatan Jawa hingga Selatan Nusa Tenggara) Periode Tahun 2004-2010. *J. Harpodon* 7(1): 9-18.
- Wells, Tony. 1995. *Shipwrecks & Sunken Treasure in Southeast Asia*, Time Editions, Singapore
- White, N. C., & Hedenquist, J. W., 1995. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *SEG newsletter*, 23(1), 9-13.
- Winarno, F. G., 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 253 pp.
- World Energy Council, 2013. *World Energy Resources In survey 2013*. www.worldenergy.org.
- Wouthuyzen, S. 2006. Monitoring Eutrofikasi Dengan Penekanan Khusus Pada Meledaknya Populasi Algae (HAB) di Perairan Teluk Jakarta Menggunakan Sensor Modis. Disampaikan dalam Seminar "Peran Riset dan Pengembangan Bidang Marine Optics Untuk Terapan Sektor Kelautan dan Perikanan di Indonesia". Seminar atas kerjasama BRKP, DKP - Jurusan Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya, 15 Agustus 2006.
- Wyrski, K. 1961. Physical oceanography of the Southeast Asian waters. *NAGA Report vol. 2*. The University of California, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California: 195 pp.
- Wyrski, K. 1987. Indonesian Through Flow and the Associated Pressure Gradient. *J. Geophys. Res.* 92(C12): 12,941-12,946. <https://doi.org/10.1029/JC092iC12p12941>.
- Yankah, V. V., Ohshima, T., Ushio, H., Fujii, T., & Koizumi, C., 1996. Study of the differences between two salt qualities on microbiology, lipid and water-extractable components of Momoni, a Ghanaian fermented fish product. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71(1), 33-40.

A

Abyssal plain 117
Adaptasi Perubahan Iklim 202, 209, 229
Aerob 224
AFOLU 203, 204, 212, 227, 310, 313
Afrika 131
Air ballast 249, 250, 257, 272, 310, 311, 314
Air raksa 37
Air tanah 52, 95, 96
Algae blooming 237
Altimetri 187
Aluvium 48
Amonia 220
Anomali suhu 181, 184
Antartika 179, 185, 259
Antropogenik 180
Armada penangkapan ikan 197
Artefak 73
Asbes 36
Asia 131
Atol 48
Australia 131

B

Back arc 32
Bahan bakar fosil 47, 53, 57, 180, 182, 185, 203, 215, 217, 219
Banda 46
Batimetri 117
Batubara 39, 43, 44, 45, 57, 95, 182, 183, 286
Batu gamping 36
Belerang 38, 39, 40, 42, 182
Bauksit 37
Bentonite 36
Bioakumulasi 245, 255, 264
Biogeokimia 262, 313
Biomasa atas 224
Biomasa bawah 224
Bleaching alert 195, 196
Business As Usual (BAU) 211

C

Carbon sink 215, 223, 224
Clean energy 56
Climate Smart Agriculture 204, 310
Continental shelf 117
Coring 179
Cyclone 127

D

Degree Heating Week (DHW) 195
Denitrifikasi 227
Diet plastik 241
Dinamika muka laut 179
Downwelling 151

E

E. acoroides 225
El Nino 127, 200, 201, 300
Eddy Current 147
Ekman 148, 149
El Nino 155
Emisi 182, 183, 192, 196, 197, 198, 203, 204, 205, 206, 210, 211, 212, 214, 215, 216, 220, 226, 227, 228, 229, 273, 310, 312, 313
Epifit 192
Eurasia 27
Eutrofikasi 226, 237, 254, 255, 310
Exxon Mobil 46

F

Filter feeding 245, 310
Fitoplankton 173, 192, 199, 200, 201, 219, 220, 254, 262, 263, 313
Fluks CO₂ 221
Fluviatile 49
Foraminifera 179
Fosfat 36
Fotosintesis 191, 192, 219, 221, 261, 262, 313
Freeport 36
Fuel Used Intensity (FUI) 214

G

Garam 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67
Gas Rumah Kaca 180, 181, 182, 183, 192, 196, 203, 204, 205, 206, 207, 210, 215, 226, 227, 229, 313
Geldermalsen 71
Geomembran 62
Geosains 26
Geothermal 55
Gondwana 4
Gustiness 123

H

Hinterland 46
H. ovalis 226
H. uninervis 226
Hujan asam 182
Hurricane 128
Hypoksia 311
Hypoxia 199

I

iCC Indonesia 201
Iklim purba 179
Illegal Fishing 73
In situ 70, 71, 76
India 131
Injeksi Karbon 218
Invasive aliens 237, 255, 272
IPCC 180, 182, 183, 187, 189, 203, 204, 205, 209, 210, 221, 222, 229, 290, 294, 311, 313
Isotop oksigen marin 179
Itai-itai Disease 245

J

James Watt 182
Jejak karbon 214, 215
Junk 69,70

K

Kalsifikasi 191, 193, 196, 221
Karang 13, 15, 16, 17, 18, 50, 70, 71, 73, 74, 140
Karang 179, 185, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 199, 220, 221, 230, 237, 244, 245, 252, 253, 262, 301, 312, 313
Karbon Biru 223, 227
Karbon dioksida 126, 180, 182

Karbon Laut 219
Karbon nasional 212, 224, 313
Karbon organik 220, 221, 223, 224, 226
Kemelimpahan Alga Beracun 198, 310
Kenaikan muka air lau 110
Kenaikan muka air lau 180, 187, 188, 189
Keramba Jaring Apung 197
Keseimbangan karbon 192, 204, 205, 227
Khatulistiwa 126, 133
KLH 239, 247, 292, 311
KLHK 211, 227, 239, 311
Klorofil 222
Konveksi 131
Kobalt 37
Krakatau 26, 46

L

Lamun 191, 192, 212, 214, 220, 223, 224, 225, 226, 227, 230, 245, 257, 261, 301, 304, 311
Land based pollution 236, 256
La Nina 155
Lereng benua (*continental slope*) 221
Life Cycle Analysis 215
Logam berat 166, 237, 245, 246, 247, 248, 255

M

Mangrove 14, 15, 18, 21, 99
Mangrove 189, 191, 212, 214, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 234, 277, 287, 290, 311
Mariculture 234
Marine debris 237
Marine Eco Archaeological Park 76
Matahari 132
Mekanisme pembangunan bersih 205
Metamorf 47
Mid Oceanic Redge 32
Mikroba aerob 224
Mikroplastik 237, 242, 243, 244, 245, 260, 312
Milankovitch 178, 180
Minamata Disease 245
Mitigasi 100, 101, 103, 108, 109,
Mitigasi Berbasis Ekosistem 218
Mitigasi Perubahan Iklim 215, 227
Monsun 131, 132
Monsoon 126

Mooring buoy 150
Musim hujan 132
Musim kemarau 132

N

Natural CO₂ sink 192, 219
Natural threat 68
NDC 204, 207, 211, 227, 231, 312
Nikel 37
Nitrifikasi 227
NKRI 75
Non destructive 69
Non skeptis 178, 312
Nutrient 151, 221, 254, 262

O

Ocean acidification 192
Oceanic sink 221
Orografis 131
Overfishing 196

P

Paparan benua 121, 122, 123
Pemanasan global 180, 185, 192, 218, 229, 257
Pemutihan karang 191, 193, 195
Penyakit ikan 198
Perencanaan Pembangunan Rendah Karbon (PPRK) 212, 313
Perikanan budidaya 172, 197, 226
Perubahan Iklim 53, 54, 130, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 191, 192, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 204, 205, 206, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 218, 227, 229, 230, 231, 257, 310, 311, 312, 313
Phytophagus 245, 313
pompa biologis 220
Pompa kelarutan 220
Presipitasi 180, 191
Produktivitas primer 222, 223
Proxy paleoclimate 187

R

Radium 37
RAN - API 230, 313
RAN-GRK 210, 211, 212
Rantai makanan 151, 166, 196, 199, 200, 245, 246, 247, 248, 255, 264, 265, 311
Rasio konversi pakan 197
RCP 313

Reverse osmosis 52
Revolusi Industri 182, 183, 185, 192
Run off 49

S

Sahul 11, 12, 21, 22
Samudra Hindia 131
Salt marsh 46
Sea based pollution 236
Seng 37
SIDS 207
SIGN SMART 211, 212
Siklus Karbon 218
Sinking 151
Site Significance Assessment 74
Situs 68
Skeptis 178, 312
Stok karbon 192, 214, 219, 224, 225
Storm surge 127
Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove 228
Sulfidasi 34
Sumber daya mineral 35, 36, 58
Sundaland 6,7

T

T.hemprichi 225
Tambak 18, 20, 21, 64, 65, 66, 69, 95, 101, 216, 226, 227, 228, 229
Tektonik 22, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 47, 49, 56, 77, 79, 81, 84, 112,
Tembaga 37
Termoklin 145, 146, 147, 148, 159, 170, 221
Thorium 37
Tide gauge 86, 87, 109
Timah 37
Timbal 37
Titan 37
Timbulan sampah 239
Tipping point global temperature 203
Tumpahan minyak 166, 167, 168, 237, 249, 250, 251, 253, 257
Tsunami 26
Turbiditas 132

U

Underwater cultural heritage 68

UNFCCC 180, 205, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 314

Upwelling 149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 169, 172, 173, 222, 258, 293, 305

Uranium 37

W

Wallacea 2, 3, 6, 10

WP3K 69

Z

Zooplankton 245

Zeolite 36

Zooxanthellae 193, 194, 195, 312, 313

AFOLU: kependekan dari *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Afolu adalah salah satu sektor dalam konsesus penerapan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Air ballast: air yang digunakan oleh kapal pada saat muatan kosong atau setengah terisi, sebagai pemberat untuk menjaga stabilitas dan keseimbangan kapal. Saat diambil dari perairan sekitar (ballasting), diperkirakan air *ballast* mengandung ribuan jenis spesies seperti bakteri, microba, ubur-ubur, larva, dan telur hewan, serta bentuk hewan-hewan akuatik yang berukuran lebih besar. Yang akan berpindah jika dilakukan pembuangan air *ballast* (*deballasting*).

Air tanah: massa air dalam tanah di bawah zona freatik, menempati ruang pori total dalam batu dan bergerak perlahan menuruni bukit di mana permeabilitas memungkinkan.

Akuifer: sebuah formasi permeabel yang menyimpan dan mengirimkan air tanah dalam jumlah yang cukup untuk memasok sumur.

Algae blooming: Ledakan pertumbuhan alga akibat adanya eutrofikasi.

Artefak: sebutan untuk benda bagian dari tinggalan arkeologi, baik utuh maupun sebaran pecahannya.

Bentang alam: panorama alam yang disusun oleh elemen geomorfologi dalam dimensi yang lebih luas dari terrain

Back arc: merupakan bagian paling belakang dari rangkaian busur tektonik yang relatif paling stabil dengan topografi yang hampir seragam berfungsi sebagai tempat sedimentasi.

Batimetri: Kajian tentang kedalaman di bawah air dan proyeksi tiga dimensi kedalaman samudra atau danau.

Bioakumulasi: penimbunan substansi di dalam tubuh suatu organisme. Bioakumulasi terjadi ketika suatu substansi diserap oleh tubuh organisme dengan laju yang lebih cepat daripada pengeluaran substansi tersebut lewat proses katabolisme dan ekskresi.

Climate Smart Agriculture (CSA): pembangunan sektor pertanian berkelanjutan untuk peningkatan produktivitas, ketahanan pangan (adaptasi) dan mengurangi emisi gas rumahkaca (mitigasi).

Continental arc: busur benua yang merupakan bagian dari proses di atas. Busur benua menjadi jalur gunung api/vulkanik yang terbentuk ketika lempeng samudra bertemu dengan lempeng benua.

Diet plastik : Mengurangi pemakaian berbahan plastik sekali pakai terutama kantong plastik

Eddy current: merupakan pertemuan antar aliran massa air atau antar arus yang menyebabkan terjadinya suatu pusaran dengan diameter dapat mencapai puluhan hingga ratusan kilometer. Arus Eddy yang melingkar ini dari tipe siklonik dan antisiklonik.

El Nino: kejadian di mana suhu air laut yang ada di Samudra Pasifik memanas di atas rata-rata suhu normal.

Endogen: gaya dari dalam bumi yang mengontrol pembentukan bentang alam seperti gunungapi, aktivitas magma, dan aktivitas tektonik.

Episenter: titik di permukaan bumi tepat di atas fokus atau hiposenter dari gempa.

Erosi: himpunan semua proses baik tanah atau batuan yang longgar dan pindah menurun atau melawan arah angin

Eutrofikasi: Peristiwa pengayaan berlebihan unsur hara atau nutrisi dalam kolom air yang mengakibatkan pertumbuhan mikro alga yang berlipat-lipat ganda (meledak) dapat mengakibatkan pengurangan/hilangnya oksigen di kolom air

Evakuasi: Proses pemindahan korban yang mengalami sebuah bencana dari sebuah daerah atau perkotaan seperti bencana gempa bumi, tsunami dan lainnya.

Filter feeding: Mekanisme makan oleh sejenis hewan yang memakan partikel dan materi organik dan makhluk hidup yang tersuspensi di air, umumnya dengan melewatkan air ke struktur penyaring yang dimiliki hewan tersebut

Gas Rumah Kaca (GRK) : Gas-gas yang dihasilkan baik secara alamiah maupun antropogenik yang menimbulkan efek rumah kaca. Gas-gas tersebut adalah Karbon dioksida (CO₂), Nitrogen oksida (N₂O), Metana (CH₄), sulfurheksafluorida (SF₆), perflorokarbon (PFCs), dan hidroflorokarbon (HFCs).

Gempa bumi : gerak osilasi kekerasan tanah yang disebabkan oleh bagian dari gelombang seismik memancar dari kesalahan bersama yang gerakan tiba-tiba telah terjadi.

Geomembran: material pelapis yang mempunyai permeabilitas sangat rendah sehingga dapat mengontrol cairan (atau gas) migrasi dalam proyek, struktur, atau sistem buatan manusia.

Geomorfologi: ilmu tentang alam permukaan dan interpretasi mereka atas dasar geologi dan iklim.

GPS (*Global Positioning System*): sistem untuk menentukan letak di permukaan bumi dengan bantuan penyelarasan (*synchronization*) sinyal satelit. Sistem ini menggunakan 24 satelit yang mengirimkan sinyal gelombang mikro ke Bumi. Sinyal ini diterima oleh alat penerima di permukaan, dan digunakan untuk menentukan letak, kecepatan, arah, dan waktu.

HAB (*harmful algal bloom*) atau Kemelimpahan Alga Beracun : Suatu kondisi dimana terjadi melimpahnya atau ledakan populasi alga karena dipicu oleh naiknya parameter-parameter lingkungan, seperti nutrisi dan suhu. Hal ini terjadi baik karena faktor polusi perairan yang disebabkan oleh manusia maupun akibat kenaikan suhu sebagai dampak perubahan iklim. Kerugian bisa berasal dari jenis alga beracun, maupun dari oksigen perairan yang menjadi rendah akan dikonsumsi oleh ledakan populasi alga yang bisa berdampak pada kematian masal ikan.

Hidrokarbon: Sebuah senyawa kimia organik yang terbuat dari atom karbon dan hidrogen diatur dalam rantai atau cincin.

Hypoksia : Kekurangan oksigen akibat tidak mampunya jaringan darah menyerap oksigen dalam hal ini karena tidak adanya oksigen di lingkungan.

Illegal Fishing: atau Perburuan ikan/penangkapan ikan secara ilegal yang merusak lingkungan termasuk keberadaan situs kapal karam kuno sebagai salah satu sumber daya non hayati laut

In situ: sebuah terminologi untuk lokasi awal keberadaan situs, tanpa ada perpindahan sebelumnya. Terminologi ini biasanya digunakan untuk model pengelolaan situs pada posisi awalnya tersebut.

Invasive aliens : spesies pendatang yang diperkenalkan baik sengaja atau tidak dari suatu wilayah yang hidup dan berkembang biak di wilayah tersebut dan menjadi ancaman bagi biodiversitas, sosial ekonomi, maupun kesehatan pada tingkat ekosistem, individu, maupun genetik. Misal dari *air ballast*.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Sebuah panel ilmiah yang beranggotakan para ilmuwan dari berbagai negara dengan latar belakang ilmu pengetahuan yang bervariasi. Panel ini memberikan kajian ilmiah terkait perubahan iklim dengan data yang terus menerus diperbaharui.

Itai itai disease: Penyakit yang menyebabkan tulang melunak dan gagal ginjal disebabkan keracunan kadmium.

Junk: merupakan salah satu jenis kapal layar China kuno, yang sudah mulai berkembang sejak masa Dinasti Song (960 -1279), dengan dasar mengambil model dan struktur kapal dari Austronesia

Karbon biru: Kemampuan vegetasi pesisir, yaitu lamun, mangrove dan rawa payau (tidal marsh) dalam menyerap karbon. Untuk konteks Indonesia yang berada pada wilayah tropis hanya ada dua ekosistem biru, yaitu mangrove dan lamun.

KLH : Kementerian Lingkungan Hidup.

KLHK: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Land based pollution: sumber pencemaran laut dan pesisir yang berasal dari aktivitas di daratan yang dapat terbawa melalui sungai.

La Nina: peristiwa turunnya suhu air laut di Samudera Pasifik di bawah suhu rata rata sekitarnya Logam berat.

Logam berat: kelompok unsur logam dengan massa jenis lebih besar dari 5 gr/cm³, yang terlarut dan tersuspensi dimana pada tingkat tertentu menjadi bahan beracun dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup yang masuk melalui rantai makanan. Logam berat diantaranya adalah timbal (Pb), merkuri (Hg), arsenik (As) dan cadmium (Cd).

Mariculture: adalah teknik budidaya biota laut (seperti ikan, kerang, udang dan rumput laut) dibawah keadaan yang terkontrol sampai mencapai nilai yang menguntungkan.

Marine debris: atau sampah laut adalah bahan padat yang sulit terurai, hasil pabrikan, atau olahan yang dicampakkan, dibuang, atau dibiarkan di lingkungan laut dan pesisir.

Marine eco archaeological park: sebuah model pemanfaatan potensi sumber daya arkeologi maritim sebagai Taman Arkeologi Bawah Laut untuk wisata bahari/selam.

Mikroplastik: mikroplastik adalah partikel plastik berukuran 300 µm – 5 mm yang terbagi dua kategori ukuran besar 1- 5 mm dan kecil < 1mm (Tankovic, 2015).

Minamata disease: sindrom kelainan fungsi saraf yang disebabkan oleh keracunan akut air raksa.

Mitigasi: Serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun kesadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.

Monsoon: kondisi angin yang bergerak secara periodik pada suatu periode tertentu pada suatu arah dan berlawanan arah pada periode selanjutnya

Natural threat: merupakan sebuah terminologi asing yang sering digunakan untuk menyebut adanya ancaman yang datang dari lingkungan luar situs arkeologi maritim, antara lain sedimentasi, arus dan gelombang akibat gempa dan tsunami yang dapat memindahkan posisi situs hingga hilang dan hancur

NDC (*National Determined Contribution*): Dokumen komitmen penurunan emisi yang diusulkan oleh setiap negara sebagai salah satu hasil Perjanjian Paris.

NKRI atau Negara Kesatuan Republik Indonesia: dalam konteks untuk menekankan nilai penting situs arkeologi maritim yang ditemukan di kawasan perbatasan NKRI

Non destructive: tidak merusak situs.

Pandangan Skeptis Perubahan Iklim: Suatu pandangan yang berpendapat bahwa perubahan iklim bukan disebabkan oleh perilaku manusia, tetapi hanya suatu siklus alamiah semata. Pandangan ini bukan merupakan pendapat yang dominan dan arus utama perubahan iklim berpandangan sebaliknya, yaitu perubahan iklim disebabkan karena perilaku manusia yang menyebabkan naiknya emisi karbon. Pandangan yang kedua ini sering disebut dengan kaum non-skeptis.

Pemutihan Karang (*coral bleaching*) : Kejadian memutihnya warna karang akibat terlepasnya *zooxanthellae* (tumbuhan kecil yang berasosiasi dengan karang). Pada kasus *bleaching* berpindahnya *zooxanthellae* dari permukaan karang ini karena dipicu kenaikan suhu permukaan laut. Pada kasus tertentu, dimana kenaikan suhu tidak berlangsung lama, *zooxanthellae* dapat kembali lagi ke permukaan karang dan karang tetap hidup. Jika kejadian kenaikan suhu berlangsung parah, maka *zooxanthellae* tidak akan kembali, dan karang akan mati.

Perencanaan Pembangunan Rendah Karbon (PPRK) atau LCDI (*Low Carbon Development Initiative*) : Perencanaan Pembangunan yang mencakup penurunan emisi dan sekaligus juga memperhitungkan pertumbuhan ekonomi dan kelestarian pemanfaatan sumber daya alam. Konsep PPRK juga memperhitungkan keterkaitan dari sektor-sektor yang ada, sehingga interdependensi antar sektor akan mempengaruhi status emisi sektor-sektor tersebut.

Phytophagus : Hewan yang hidup dengan memakan tumbuhan.

Pompa Biologi (*biological pump*): Penyerapan karbon atmosfer oleh laut yang dikontrol oleh faktor-faktor biologis, seperti proses fotosintesis oleh fitoplankton.

Pompa Kelarutan (*Solubility pump*): Penyerapan karbon atmosfer oleh laut dan transpornya ke laut dalam yang dikontrol oleh faktor-faktor biogeokimia.

Pulau Atol: pulau yang biasanya mempunyai luas daratan jarang lebih dari 50 km². Contohnya adalah pulau-pulau di Kepulauan Takabonerate, Sulawesi Selatan.

Pulau Koral: pulau yang terbentuk oleh sedimen bioklastik berumur kuartar.

RAN - API (Rencana Aksi Nasional - Adaptasi Perubahan Iklim): Rencana Pemerintah Indonesia yang dituangkan dalam suatu dokumen kesepakatan Nasional untuk melakukan langkah-langkah adaptasi dari dampak perubahan iklim.

RAN - GRK (Rencana Aksi Nasional - Gas Rumah Kaca) : Rencana Pemerintah Indonesia yang dituangkan dalam suatu dokumen kesepakatan Nasional untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebagai bagian dari aksi perubahan iklim.

RCP (*representative concentration pathway*) : suatu skenario simulasi perubahan iklim ke depan yang dilakukan oleh IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) berdasarkan 4 skenario emisi. Empat skenario ini adalah RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 dan RCP 8. Semakin tinggi angka RCP semakin tinggi nilai parameter-parameter iklim yang digunakan, misalnya suhu, konsentrasi CO₂.

Sea / marine based pollution: sumber pencemaran laut dan pesisir yang berasal dari aktivitas di laut seperti aktivitas penangkapan ikan, pertambangan di laut, pelabuhan dll.

Sedimentary basin: cekungan sedimentasi.

Seismometer: adalah alat atau sensor getaran yang biasanya digunakan untuk mendeteksi gempa bumi.

Shelter: tempat berlindung atau sesuatu yang dapat kita gunakan untuk melindungi diri.

Siklus karbon: Sistem perhitungan karbon nasional Indonesia untuk menghitung, melaporkan dan memverifikasi total emisi dan serapan karbon yang berasal dari sektor kehutanan dan pertanian atau sektor AFOLU (*agriculture, forestry and other land use*).

Site Significance Assessment: sebuah model penilaian untuk sumber daya arkeologi maritim sebagai potensi sumber daya non hayati laut.

Situs: merupakan sebutan untuk suatu kawasan di darat, pesisir maupun di bawah laut yang menyimpan sebaran sejumlah sisa-sisa peninggalan arkeologi, contohnya sisa-sisa struktur kapal dengan sebaran muatannya dalam satu kawasan.

The Pasific Ring of Fire: daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudra Pasifik

Timbulan sampah: volume sampah atau berat sampah yang dihasilkan dari jenis sumber sampah di wilayah tertentu per satuan waktu

Tumpahan minyak: Tumpahan minyak atau oil spill adalah peristiwa pencemaran laut yang diakibatkan dari hasil operasi kapal tanker (*air ballast*), perbaikan dan perawatan kapal (*docking*), terminal bongkar muat tengah laut, air bilga (saluran buangan air, minyak dan pelumas hasil proses mesin), *scrapping* kapal, dan yang banyak terjadi adalah kecelakaan/tabrakan kapal tanker.

UNFCCC (United Nation Framework Convention on Climate Change): atau Konvensi Kerangka Kerja Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa.

Underwater cultural heritage: atau warisan budaya bawah air, merupakan sebutan resmi badan organisasi Kebudayaan Dunia (UNESCO) untuk menyebut situs arkeologi maritim yang telah teridentifikasi dan ditemukan berada di bawah permukaan air (laut, sungai, danau) memiliki nilai sejarah dan budaya kemaritiman di suatu kawasan pesisir/laut.

Upwelling: fenomena di mana air laut yang lebih dingin dan bermassa jenis lebih besar bergerak dari dasar laut ke permukaan akibat pergerakan angin di atasnya.

Volcanic arc: merupakan jalur pegunungan aktif di Indonesia yang memiliki topografi khas dengan sumber daya alam yang khas juga.

WP3K: singkatan untuk Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil

ISBN 978-623-7651-22-2



9 786237 651222

ISBN 978-623-7651-23-9 (PDF)



9 786237 651239



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