

Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra>

KETERKAITAN SPASIAL KUALITAS LINGKUNGAN DAN KEBERADAAN FITOPLANKTON BERPOTENSI HABs PADA TAMBAK EKSTENSIF DI KECAMATAN LOSARI KABUPATEN CIREBON, JAWA BARAT

Tarunamulia[#], Kamariah, dan Akhmad Mustafa

Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau

ABSTRAK

Harmful Algal Blooms (HABs) dapat memberikan dampak negatif secara ekologis, ekonomis, dan kesehatan. Kejadian dapat bervariasi menurut faktor lingkungan lokal pemicu, serta kemampuan adaptasi spesies. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keterkaitan antara karakteristik kualitas lingkungan dengan keberadaan fitoplankton berpotensi HABs pada tambak ekstensif di Kecamatan Losari Kabupaten Cirebon, Jawa Barat. Sebanyak masing-masing 45 contoh air dan tanah diambil pada total luas petakan tambak \pm 2.300 ha dengan metode transek yang dimodifikasi. Peubah kualitas air yang diukur meliputi; total amonia nitrogen (TAN), nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$), bahan organik total (BOT), dan plankton. Sedangkan peubah kualitas tanah tambak meliputi pH, total nitrogen (N_{TOT}), fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$), dan BOT. Analisis keterkaitan kualitas lingkungan dengan keberadaan fitoplankton berpotensi HABs dilakukan dengan *BIO-ENV analysis*, *cluster analysis*, dan analisis spasial dengan software PRIMER 5.0 dan ArcGIS 10.0. Dari 23 genera yang diidentifikasi terdapat lima genera (21%) yang potensial menyebabkan HABs meliputi *Prorocentrum*, *Ceratium*, *Gymnodinium*, *Thalassiosira*, dan *Nitzschia*. *Prorocentrum* sp. ditemukan pada 21 stasiun dari total 45 stasiun dengan kepadatan 508 sel/L. Hasil analisis selanjutnya menunjukkan bahwa distribusi spasial spesies berkaitan erat dengan distribusi nilai TAN dan BOT air, serta nilai N-total tanah. Jika tidak ada upaya pengelolaan dan mitigasi sehubungan keberadaan HABs tersebut maka dikhawatirkan dapat memengaruhi produktivitas dan keberlanjutan kegiatan budidaya di lokasi penelitian.

KATA KUNCI: fitoplankton; HABs; kualitas lingkungan; analisis spasial; Kecamatan Losari; Kabupaten Cirebon

ABSTRACT: *Spatial relationship between environmental quality and the presence of potentially causative phytoplankton species of HABs at extensive brackishwater ponds area in Cirebon Regency, West Java. By: Tarunamulia, Kamariah, and Akhmad Mustafa*

*Harmful Algal Blooms (HABs) can cause serious negative ecological, economical and human health impacts. The occurrence of HABs may vary according to local environmental factors and the adaptability level of the causative species. This study aims to determine the relationship between environmental quality and the presence of causative phytoplankton species of HABs at extensive brackishwater aquaculture ponds located in Losari District, Cirebon Regency, and West Java Province. The sampling method followed a modified transect method by which a total of 45 each water and soil samples were taken from pond units, covering the total area of about 2300 ha. Water quality parameters comprised total ammonia nitrogen (TAN), nitrite, nitrate, phosphate and total organic matter (TOM). Whilst the pond soil quality variables included pH, total nitrogen (N_{TOT}), phosphate and TOM. Spatial relationship between environmental quality and the presence of potentially causative phytoplankton species of HABs conducted through BIO-ENV analysis, cluster analysis and spatial analysis with the help of software PRIMER 5.0 and ArcGIS 10.0. Of the total 23 identified phytoplankton genera, 5 genera (21%) were classified as potentially causative genera of HABs including *Prorocentrum*, *Ceratium*, *Gymnodinium*, *Thalassiosira* and *Nitzschia*. *Prorocentrum* sp was discovered in 21 stations of a total of 45 stations and accounted for the highest density (508 cells / L). The results further indicated that the spatial distribution of the potentially causative species is closely related to the distribution of values of TAN and TOM (water) and N_{TOT} (soil). Unless effective management and mitigation efforts are undertaken, the presence of the potentially causative species could affect the sustainability of aquaculture activities at the study sites.*

[#] Korespondensi: Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau, Jl. Makmur Dg. Sitakka No. 129, Maros 90512, Sulawesi Selatan, Indonesia. Tel.: + (0411) 371544
E-mail: tarunamulia@yahoo.com

KEYWORDS: *Phytoplankton, HABs, environmental quality, spatial analysis, Losari District, Cirebon Regency*

PENDAHULUAN

Pada setiap upaya peningkatan produksi budidaya perairan yang berbasis lahan, akan melibatkan pengembangan luasan lahan, peningkatan kepadatan instalasi budidaya, dan peningkatan penggunaan pakan, pupuk, dan *input* bahan kimia, termasuk peningkatan penggunaan lahan dan air. Berkaitan dengan hal ini pemanfaatan ekosistem pesisir untuk kegiatan budidaya tentunya akan memberikan dampak atau tekanan lingkungan nyata terutama pada penggunaan jasa dan komponen penyusun ekosistem (*ecosystem goods and services*) (Aguilar-Manjarrez *et al.*, 2010; FAO, 1995). Usaha budidaya tambak bersaing secara ekonomi, sosial, fisik, dan ekologis, serta sektor-sektor industri pantai lainnya dan pengembangannya dapat berdampak negatif bagi industri-industri seperti perikanan tangkap, pertanian, dan pariwisata. Untuk alasan tersebut sudah menjadi tanggung jawab dan kesepakatan bersama bahwa pengembangan akuakultur harus direncanakan dan didesain secara lebih bertanggung jawab dengan semaksimal mungkin mengurangi dampak-dampak negatif secara sosial dan lingkungan.

Di Indonesia, pada dekade tahun 1980 budidaya udang sistem ekstensif berkembang sangat pesat. Pembukaan tambak baru dengan hamparan yang cukup luas, seringkali kurang memperhatikan keberadaan jalur hijau, akibatnya populasi pohon mangrove sangat menurun, bahkan di beberapa tempat telah habis dialih-fungsikan sebagai tambak udang/bandeng. Di Kabupaten Cirebon, Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) melaporkan bahwa akibat eksploitasi tambak untuk budidaya udang secara terus-menerus dari tahun 1975 sampai 1990-an menyebabkan tanah tambak di Kabupaten Cirebon menjadi lebih masam dan untuk mengembalikan kesuburan tambak memerlukan waktu 7-10 tahun (AntaraneWS, 2006). Ekstensifikasi wilayah tambak juga dapat menyebabkan intrusi air laut hingga jauh ke wilayah pertanian. Sebaliknya kelebihan aplikasi pupuk dan pestisida pada lahan tanaman pangan (sawah, ladang, perkebunan, dan peternakan) akan dibuang ke saluran air tawar yang juga berhubungan langsung dengan saluran tambak. Penurunan kualitas air akibat cemaran air dari limbah domestik dan industri (batik, batu alam, dan rotan) di Kabupaten Cirebon juga banyak dilaporkan (Djuwansah & Rusydi, 2012; Berita Cirebon, 2015; Tribun News, 2014). Kondisi curah hujan yang tinggi, saluran pembuangan yang terbatas, serta pematang tambak yang umumnya rendah menyebabkan kawasan pertambakan di Kecamatan Losari rawan banjir jika terjadi cuaca

ekstrem (Pikiran-rakyat, 2014). Pada dekade berikutnya tahun 1990-an, dengan dikembangkannya teknologi intensif yang dicirikan dengan padat tebar dan pemberian pakan yang lebih banyak per satuan luas tambak akan menambah berat beban lingkungan akibat akumulasi bahan organik sisa pakan dan kotoran udang dalam tambak dan lingkungan estuaria. Aktivitas manusia di kawasan pesisir tersebut, serta perubahan cuaca ekstrem dapat menyebabkan perubahan signifikan terhadap karakteristik lingkungan di kawasan pesisir.

Dampak dari perubahan karakteristik lingkungan ini antara lain dapat berupa proses pengkayaan hara (*nutrient enrichment*), yang dapat memicu terjadinya kejadian ledakan populasi alga (*algal blooms*) (Paerl, 1988; US-EPA, 2013). Sangat disayangkan bahwa kejadian "blooming" tersebut biasanya justru didominasi dan disenangi oleh spesies fitoplankton beracun yang secara internasional dikenal dengan istilah Harmful Algal Blooms (HABs) (Paerl, 1988). Kematian massal hewan laut karena HABs dapat terjadi karena perairan kekurangan oksigen dan perubahan karakteristik kimiawi sedimen. Selain itu, dapat juga menghasilkan toksin yang ditransfer lewat rantai makanan. Kejadian dapat bervariasi menurut faktor lingkungan lokal pemicu, serta kemampuan adaptasi spesies (Kudela *et al.*, 2015; US-EPA, 2013). Menurut Graham (2007) dan Garrido *et al.* (2014), kejadian HABs dipengaruhi oleh faktor lingkungan kompleks yang merupakan kombinasi dan interaksi antara aspek fisik, kimia, biologi, hidrologi, dan meteorologi, sehingga sampai saat ini masih sangat sulit untuk mengisolasi faktor lingkungan spesifik penyebab tersebut. Pada beberapa kasus keberadaan dan sekaligus peningkatan kelimpahan spesies fitoplankton penyebab HABs pada dan sekitar lingkungan tambak air payau berkaitan erat dengan peningkatan konsentrasi atau rasio unsur hara seperti nitrogen (N) dan fosfor (P) dari aktivitas budidaya di Pantai (Hasani *et al.*, 2012; Siegel *et al.*, 2011; Anderson *et al.*, 2002). Menurut Hasani *et al.* (2012), peningkatan populasi spesies fitoplankton HABs berkorelasi positif dengan peningkatan konsentrasi N dan P yang diakibatkan oleh aktivitas budidaya tambak dan keramba jaring apung (KJA) di Teluk Lampung. Secara spesifik Siegel *et al.* (2011) menemukan keterkaitan antara peningkatan biomassa Cyanobacteria dengan penggunaan pupuk berbasis-urea yang menghasilkan urea dan NH_4^+ pada lingkungan (tambak) air payau. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur dan komposisi plankton khususnya fitoplankton berpotensi HABs dan keterkaitan spasialnya dengan karakteristik lingkungan

tambak ekstensif (tradisional plus) di Kecamatan Losari Kabupaten Cirebon, Jawa Barat.

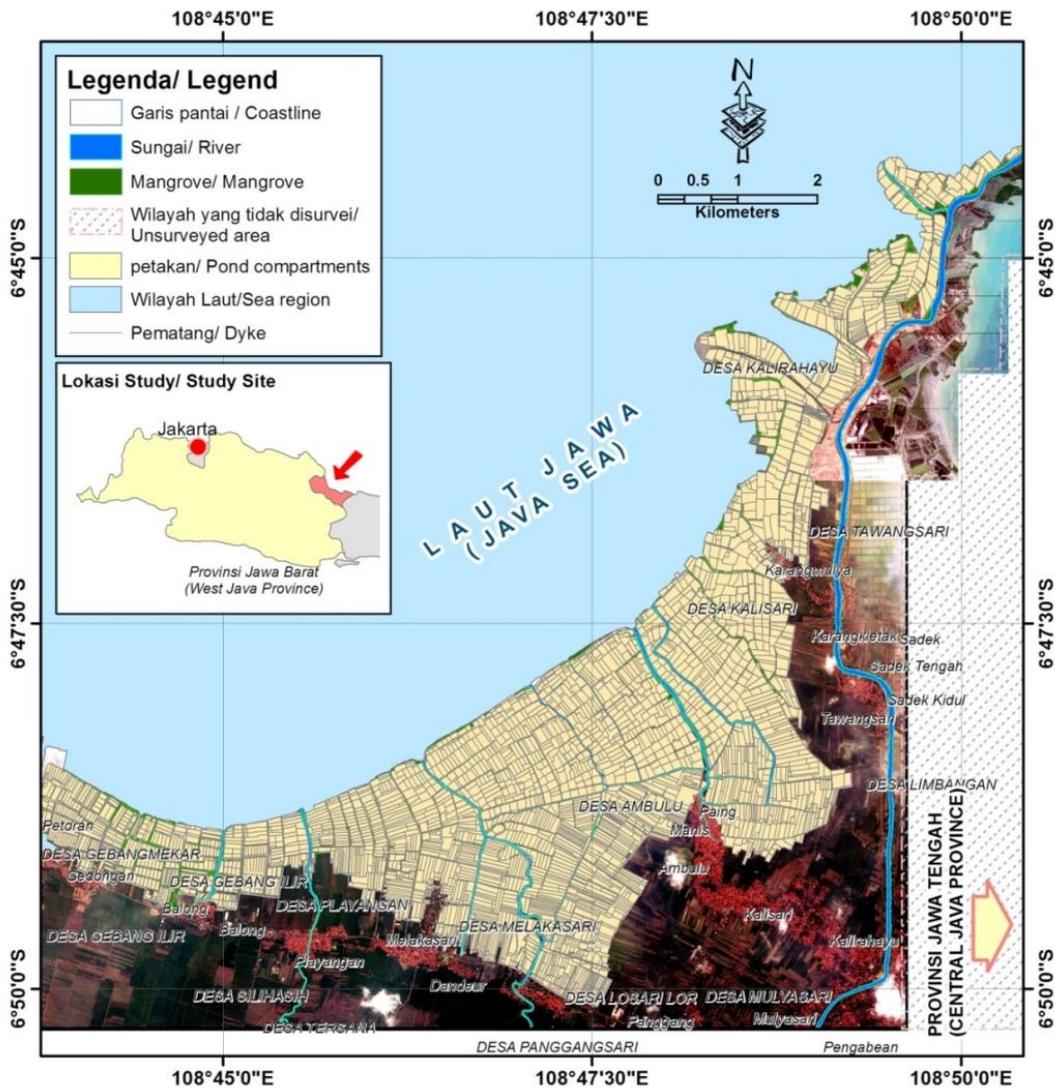
BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada kawasan pertambakan di Kecamatan Losari (Desa Ambulu, Desa Kalisari, dan Desa Tawang Sari) Kabupaten Cirebon, Jawa Barat (Gambar 1). Penelitian berlangsung dari tanggal 21-29 Mei 2014. Lokasi terpilih ini merupakan lokasi minapolitan atau target program revitalisasi industri perikanan budidaya tambak di Kabupaten Cirebon. Wilayah survai mencakup lebih dari 95% dari total wilayah tambak di Kecamatan Losari (2.500 ha).

Pengumpulan Data

Untuk menampilkan informasi biofisik lahan hingga unit petakan tambak, maka penelitian ini memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi worldview-2 akuisisi 8 Agustus dan 10 Desember 2015 untuk kawasan pesisir Kecamatan Losari. Survei lapang meliputi pengukuran *insitu* kualitas tanah dan air, serta *sampling* tanah dan air. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 65 titik yang merupakan hasil komposit dari kedalaman 0,10-0,40 m dan 0,40-0,60. Sejalan dengan kegiatan ini juga dilakukan pengukuran kualitas air secara *insitu* (63 titik) dan pengambilan sampel air pada tambak sebanyak 45 titik. *Sampling* fitoplankton dilakukan pada titik yang sama pada pengambilan sampel air tambak. *Sampling* fitoplankton dilakukan



Gambar 1. Lokasi penelitian di kawasan tambak ekstensif Kecamatan Losari Kabupaten Cirebon, Jawa Barat

Figure 1. Location of the study at extensive brackishwater ponds area in Losari District Cirebon Regency West Java Province

dengan menyaring air sebanyak 50 L menggunakan plankton net berdiameter 30 cm dengan ukuran mesh 30 μm . Air yang tersaring dan tertampung selanjutnya dipindahkan ke botol sampel dan ditambahkan larutan lugol sebanyak 5-10 tetes.

Peubah kualitas tanah yang akan diukur meliputi pH_f (pH yang diukur langsung di lapangan dengan pH meter), pH_{FOX} (pH diukur di lapangan setelah sampel tanah diekstrak dengan H_2O_2 , 30%), (Ahern *et al.*, 2004), fosfat dalam bentuk P-tersedia (P-PO_4) dianalisis dengan metode Olsen atau Bray 1, di mana metode Olsen digunakan pada kondisi pH sampel tanah lebih besar dari 5,5 sedangkan metode Bray 1 jika pH lebih kecil dari 5,5. Total nitrogen (N_{TOT}) ditetapkan dengan metode Kjeldhal (Sulaeman *et al.*, 2005), bahan organik total dianalisis dengan metode *ignition loss* (Melville, 1993). Sedangkan kualitas air meliputi peubah kualitas air yang dianalisis di Laboratorium Air Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau (BPPBAP), Maros meliputi: total amonia nitrogen (TAN), NO_3 , dan NO_2 mengikuti petunjuk Menon (1988), Parsons *et al.* (1989), APHA (2005). Pengamatan fitoplankton di bawah mikroskop dilakukan dengan menggunakan *sedwick rafter* yang berkapasitas 1 mL. Identifikasi spesies fitoplankton mengacu pada buku Wimpenny (1966), Newell & Newell (1977), dan Stafford (1999).

Analisa Data

Untuk peubah kualitas tanah dan air yang dianggap sebagai variabel kunci yang paling berpengaruh terhadap jenis kepadatan fitoplankton khususnya yang berpotensi HABS dianalisis dan ditampilkan secara spasial. Sebaran spasial peubah terseleksi tersebut dianalisis dengan metode *ordinary kriging* (OK) dengan software ArcGIS 10. Indeks biodiversitas plankton: *Shannon* (H'); *Simpson Diversity* (1-I); *Simpson Diversity* (1/I), dan *Simpson Dominance* (D) dianalisis dengan software PRIMER 5.0 (Polikarpov *et al.*, 2009). Analisis keterkaitan kualitas lingkungan dengan keberadaan fitoplankton berpotensi HABS dilakukan dengan metode *cluster analysis*, regresi linier berganda dan analisis spasial dengan software PRIMER 5.0, Microsoft Excel 2007 dan ArcGIS 10.

HASIL DAN BAHASAN

Karakteristik Umum Kawasan Tambak

Total potensi tambak di Kabupaten Cirebon tercatat sebesar 7.500 ha, akan tetapi hingga tahun 2012 baru dapat dimanfaatkan sekitar 70% (5.245 ha) (DKP Cirebon, 2012). Potensi lahan terluas (2.500 ha) berada di Kecamatan Losari dengan tingkat pemanfaatan hanya sekitar 54,42%. Tingkat pemanfaatan tersebut jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan Kecamatan

Kapetakan yang sudah mencapai 99,57% dari total potensi 1.963 ha. Dengan demikian arah pengembangan dan pemanfaatan lahan yang lebih luas untuk budidaya tambak akan lebih berpeluang besar di Kecamatan Losari.

Struktur geologi di wilayah ini didominasi oleh struktur geologi jenis aluvial (52,76%) dan hasil gunung api muda yang tak terurai (34,07%) (Bappeda Cirebon, 2014). Berdasarkan hasil analisis peta geologi yang dikeluarkan oleh Pusat Survei Geologi di Bandung, diketahui bahwa dataran rendah umumnya terbentuk dari endapan aluvium (Qa) dan endapan pantai (Qac) (Silitonga *et al.*, 1996). Endapan aluvium merupakan komposisi dari kerikil, pasir dan lempung yang berwarna kelabu yang terendapkan sepanjang dataran banjir sungai dengan tebal kurang lebih 5 m. Wilayah pantai yang digunakan sebagai lokasi pertambakan didominasi oleh endapan pantai berupa lumpur hasil endapan rawa, lanau, serta lempung kelabu yang mengandung cangkang kerang hasil pengendapan sekitar pantai. Dengan karakteristik demikian sedimen atau tanah dasar tambak umumnya akan bersifat basa dengan tekstur lempung berpasir atau lempung berliat.

Jumlah rata-rata bulan kering di Kecamatan Losari sebanyak empat bulan sementara bulan basah sebanyak delapan bulan sehingga didapatkan nilai Q (*quotient*) sebesar 50%. Dengan nilai Q demikian maka berdasarkan klasifikasi *Schmidt Ferguson* tipe hujan di kawasan ini bertipe curah hujan jenis C dengan sifat "agak basah". Musim hujan dalam setahunnya terjadi pada Oktober hingga Juni dengan curah hujan tertinggi terjadi pada Desember hingga Maret. Musim kemarau umumnya terjadi pada Agustus dan September dengan jumlah hari hujan mencapai 0. Kondisi ini patut menjadi perhatian dalam pengelolaan lahan tambak karena akan memengaruhi peubah fisik lainnya seperti gelombang. Petani tambak tradisional di Kecamatan Losari dilaporkan sering mengalami kerugian karena lahan tambak mereka terkena banjir *rob*, yang disebabkan oleh tingginya gelombang laut yang terjadi (Larastiti, 2011). Kondisi curah hujan yang tinggi, saluran pembuangan yang terbatas, serta pematang tambak yang umumnya rendah menyebabkan kawasan pertambakan di Kecamatan Losari rawan banjir jika terjadi cuaca ekstrem.

Ukuran petakan tambak bervariasi dari 0,2 hingga 3 ha (rata-rata 0,8 ha) yang umumnya merupakan hasil konversi dari lahan mangrove dan persawahan. Air tambak budidaya berasal dari saluran laut, sungai tawar/ payau atau percampuran antara keduanya. Dalam kawasan tambak tersebut terdapat sekitar 20 saluran utama yang berfungsi untuk menyalurkan air laut saat

pasang sekaligus sebagai saluran pembuangan pada saat surut. Panjang saluran bervariasi dari 400 m hingga 3.000 m dengan lebar rata-rata 5 m. Tanaman mangrove (umumnya *Rizophora* sp.) hanya dijumpai pada beberapa petak di sepanjang saluran atau pinggir pematang. Pada awalnya tambak di lokasi penelitian dikembangkan dua komoditas utama yakni udang dan bandeng yang dikelola secara ekstensif. Namun demikian sejak tahun 1993, udang di lokasi ini sudah

tidak dapat lagi tumbuh secara optimal dan tidak menguntungkan sehingga pembudidaya umumnya beralih ke budidaya ikan bandeng (Larastiti, 2011).

Struktur dan Komposisi Fitoplankton

Hasil identifikasi fitoplankton untuk lokasi penelitian ini disajikan dalam Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, dari 45 titik (stasiun) pengamatan didapatkan 23 spesies juga dari 23 genera yang berbeda dengan

Tabel 1. Komposisi, kisaran kelimpahan, dan jumlah stasiun perolehan fitoplankton pada kawasan tambak di lokasi penelitian

Table 1. Composition, range of density and total observed stations of phytoplankton collected from brackishwater ponds area in the study region

| Jenis fitoplankton <i>Type of phytoplankton</i> | Kelimpahan (sel/L) <i>Density (cell/L)</i> | | Jumlah stasiun perolehan <i>Total of observed station</i> |
|--|---|-------------------------|--|
| | Total individu <i>Total individual</i> | Kisaran <i>Range</i> | |
| Klas/Class: Bacillariophyceae | | | |
| <i>Chaetoceros</i> sp. | 62 | 0-32 | 4 |
| <i>Gyrosigma</i> sp. | 97 | 0-29 | 8 |
| <i>Navicula</i> sp. | 89 | 0-19 | 8 |
| <i>Nitzschia</i> sp. | 153 | 0-153 | 1 |
| <i>Pleurosigma</i> sp. | 66 | 0-26 | 4 |
| Klas/Class: Dinophyceae | | | |
| <i>Ceratium</i> sp. | 11 | 0-11 | 1 |
| <i>Gymnodinium</i> sp. | 10 | 0-10 | 1 |
| <i>Prorocentrum</i> sp. | 508 | 0-69 | 21 |
| <i>Protoperidinium</i> sp. | 71 | 0-21 | 6 |
| Klas/Class: Trebouxiophyceae | | | |
| <i>Chlorella</i> sp. | 304 | 0-108 | 7 |
| Klas/Class: Mediophyceae | | | |
| <i>Climacodium</i> sp. | 10 | 0-10 | 1 |
| <i>Lauderia</i> sp. | 10 | 0-10 | 1 |
| <i>Leptocylindrus</i> sp. | 10 | 0-10 | 1 |
| <i>Streptotheca</i> sp. | 10 | 0-10 | 1 |
| <i>Thalassiosira</i> sp. | 40 | 0-10 | 4 |
| Klas/Class: Cryptophyceae | | | |
| <i>Cryptomonas</i> sp. | 432 | 0-70 | 15 |
| Klas/Class: Coscinodiscophyceae | | | |
| <i>Coscinodiscus</i> sp. | 291 | 0-73 | 14 |
| <i>Dactyliosolen</i> sp. | 10 | 0-10 | 1 |
| <i>Melosira</i> sp. | 124 | 0-88 | 4 |
| Klas/Class: Fragilariophyceae | | | |
| <i>Fragilaria</i> sp. | 36 | 0-10 | 4 |
| Klas/Class: Cyanophyceae | | | |
| <i>Lyngbya</i> sp. | 50 | 0-20 | 4 |
| <i>Oscillatoria</i> sp. | 455 | 0-74 | 24 |
| <i>Synechocystis</i> sp. | 214 | 0-59 | 8 |

kisaran kelimpahan per stasiun 0-153 sel/L. Nilai 0 untuk kisaran minimum kelimpahan untuk setiap spesies per stasiun mengindikasikan bahwa tidak ada spesies yang keberadaannya dapat ditemukan pada seluruh stasiun pengamatan. Kelimpahan tertinggi ditemukan pada *Prorocentrum* sp. (508 sel/L). Jumlah stasiun perolehan empat tertinggi didapatkan pada jenis *Oscillatoria* sp., *Prorocentrum* sp., *Cryptomonas* sp., dan *Coscinodiscus* sp. dengan frekuensi masing-masing 53%, 47%, 33%, dan 31%. Nilai frekuensi 53% pada *Oscillatoria* sp. berarti bahwa pada 45 total stasiun pengamatan, spesies tersebut muncul pada 24 stasiun.

Komposisi jenis fitoplankton diwakili oleh delapan kelas yaitu Bacillariophyceae sebanyak lima genera (21,7%), Mediophyceae sebanyak lima genera (21,7%), Dynophyceae empat genera (17,4%), Coscinodiscophyceae tiga genera (13,04%), Cyanophyceae tiga genera (13,04%), dan total 13% lainnya masing-masing satu genus dari kelas Cryptophyceae, Trebouxiophyceae, dan Fragilariophyceae. Jika fitoplankton dikelompokkan ke dalam taksonomi yang lebih tinggi maka filum Diatom (Bacillariophyta) yang meliputi kelas Bacillariophyceae, Mediophyceae, Coscinodiscophyceae, dan Fragilariophyceae merupakan kelompok yang paling dominan. Melimpahnya fitoplankton dari group ini yang mencapai hampir pada semua stasiun karena kelas tersebut merupakan kelas utama fitoplankton yang terdapat hampir di seluruh bagian perairan baik di pantai maupun perairan oseanik (Polikarpov *et al.*, 2009; Paerl, 1988). Keadaan ini sejalan dengan pernyataan Ray & Rao (1964) bahwa Bacillariophyceae sering mendominasi suatu perairan, karena fitoplankton dari kelas ini mudah beradaptasi dengan lingkungan, tahan terhadap kondisi ekstrem, bersifat kosmopolitan (tawar, asin, dan payau). Demikian halnya dengan kelas Dinophyceae dari Dinoflagellata juga memiliki kemampuan adaptasi dengan lingkungan, yang mana bila keadaan lingkungan (intensitas cahaya dan DO rendah) mengganggu fisiologis sel maka dapat melakukan dormansi berupa kista atau *resting cell* yang dapat tinggal dalam sedimen hingga faktor lingkungan seperti cahaya dan oksigen terlarut kembali normal (Paerl, 1988). Dan dengan siklus hidup yang sangat cepat (1-15 hari) maka dapat menggandakan diri hingga menyebabkan akumulasi biomassa atau *blooming*.

Kelimpahan plankton dari hasil penelitian ini jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya seperti di Kabupaten Donggala, Dolago, Malakosa, dan Parigi Mautong Provinsi Sulawesi Tengah yang mendapatkan jumlah 10-20 genera dan kelimpahan fitoplankton 180-14.650 sel/L (Pirzan *et al.*, 2006). Rendahnya kelimpahan plankton di lokasi penelitian, diduga karena keberadaan hutan mangrove

di kawasan pertambakan tersebut sudah sangat kurang. Padahal keberadaan areal hutan mangrove dapat mempertahankan kesuburan perairan pada suatu kawasan pertambakan. Berkurangnya hutan mangrove pada kawasan pertambakan tersebut tentunya akan mengarah kepada terjadinya kerusakan habitat yang diperkirakan dapat berpengaruh terhadap penurunan keragaman hayati termasuk keragaman plankton. Aplikasi bahan kimia (pestisida) yang tidak terkendali dan pemupukan yang tidak berimbang kemungkinan juga berpengaruh pada rendahnya kepadatan plankton. Menurut Widodo (1997), faktor utama yang memengaruhi perubahan jumlah organisme, keragaman, dan dominasi antara lain adanya perusakan habitat alami, pencemaran kimiawi, dan perubahan iklim. Menurut Reid (1961), tinggi rendahnya bahan organik total merupakan salah satu indikator subur tidaknya suatu perairan, dan perairan dengan kandungan bahan organik total di atas 26 mg/L tergolong subur. Di kawasan pesisir tinggi rendahnya bahan organik total suatu perairan ditentukan oleh kondisi hutan mangrove yang ada di sekitarnya. Tingginya kandungan hara berhubungan dengan keberadaan ekosistem mangrove yang menghasilkan serasah dan setelah mengalami proses dekomposisi mengandung berbagai unsur hara yang diperlukan seperti N, P, K, dan sebagainya (Baliao & Tookwinas, 2002).

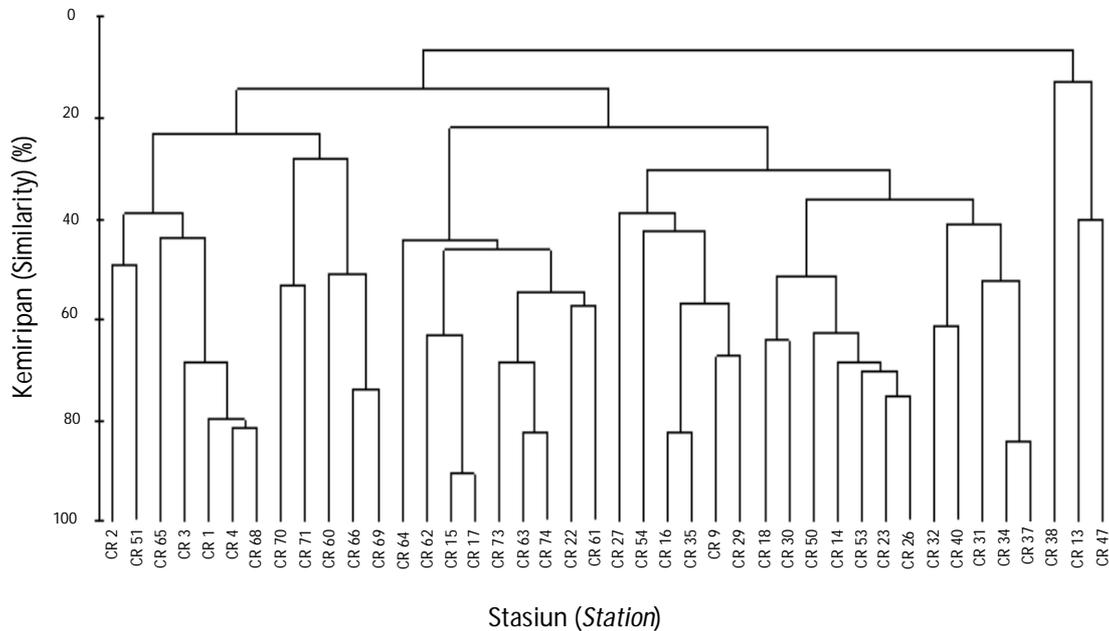
Keanekaragaman Fitoplankton dan Analisis Cluster

Tabel 2 menyajikan hasil analisis deskriptif indeks keanekaragaman (*diversity indices*) fitoplankton data sampel air tambak. Nilai rata-rata dan kisaran indeks keanekaragaman *Shannon* (H') = 1,36 (0,50-2,59); *Margalef* = 3,97 (2,74-5,28); dan $(1-D) = 0,56$ (0,20-0,83) menunjukkan bahwa perairan tambak di lokasi penelitian sekitar 70% tergolong dalam kategori stabil sedang (moderat), sedangkan sisanya tergolong dalam kategori labil atau tidak stabil. Selanjutnya nilai indeks dominasinya dengan indikator *Simpson Dominance* (D) yang berkisar 0,17-0,80 (rata-rata 0,44) menunjukkan secara umum bahwa pada beberapa stasiun pengamatan tidak terdapat genera yang secara ekstrem mendominasi genera lainnya. Menurut Basmi (2000), bila $H' < 1$, maka komunitas biota plankton dinyatakan tidak stabil, bila H' berkisar dari 1-3, maka stabilitas komunitas biota plankton dinyatakan dalam kategori moderat dan bila $H' > 3$, berarti stabilitas komunitas biota plankton bersangkutan dalam kondisi prima. Meskipun secara umum kondisi perairan tambak dalam kategori stabil sedang namun hasil analisis ini juga menunjukkan adanya beberapa stasiun pengamatan yang berkategori tidak stabil yang berarti bahwa struktur dan komposisi genera akan mudah

Tabel 2. Indeks keanekaragaman dan dominansi fitoplankton pada kawasan tambak di lokasi penelitian (N= 45)

Table 2. Results of analysis of diversity and dominance indices of phytoplankton collected from brackishwater ponds area in the study region

| Indeks biodiversitas <i>Biodiversity indices</i> | Kisaran (rata-rata ± stdev) <i>Range (mean ± stdev)</i> |
|---|--|
| Margalef (M Base 2) | 2.74-5.28 (3.97 ± 0.72) |
| Shannon (H') | 0.50-2.59 (1.36 ± 0.49) |
| Simpson diversity (1-l) | 0.20-0.83 (0.56 ± 0.13) |
| Simpson diversity (1/l) | 1.25-5.92 (2.54 ± 0.96) |
| Simpson dominance (D) | 0.17-0.80 (0.44 ± 0.13) |



Gambar 2. Dendrogram hasil analisis cluster (*metode group average linking*) yang menunjukkan variasi spasial komunitas plankton

Figure 2. Dendrogram of the cluster analysis (*group average linking method*) indicating spatial variability of phytoplankton community

berubah hanya dengan terjadinya pengaruh lingkungan yang relatif kecil.

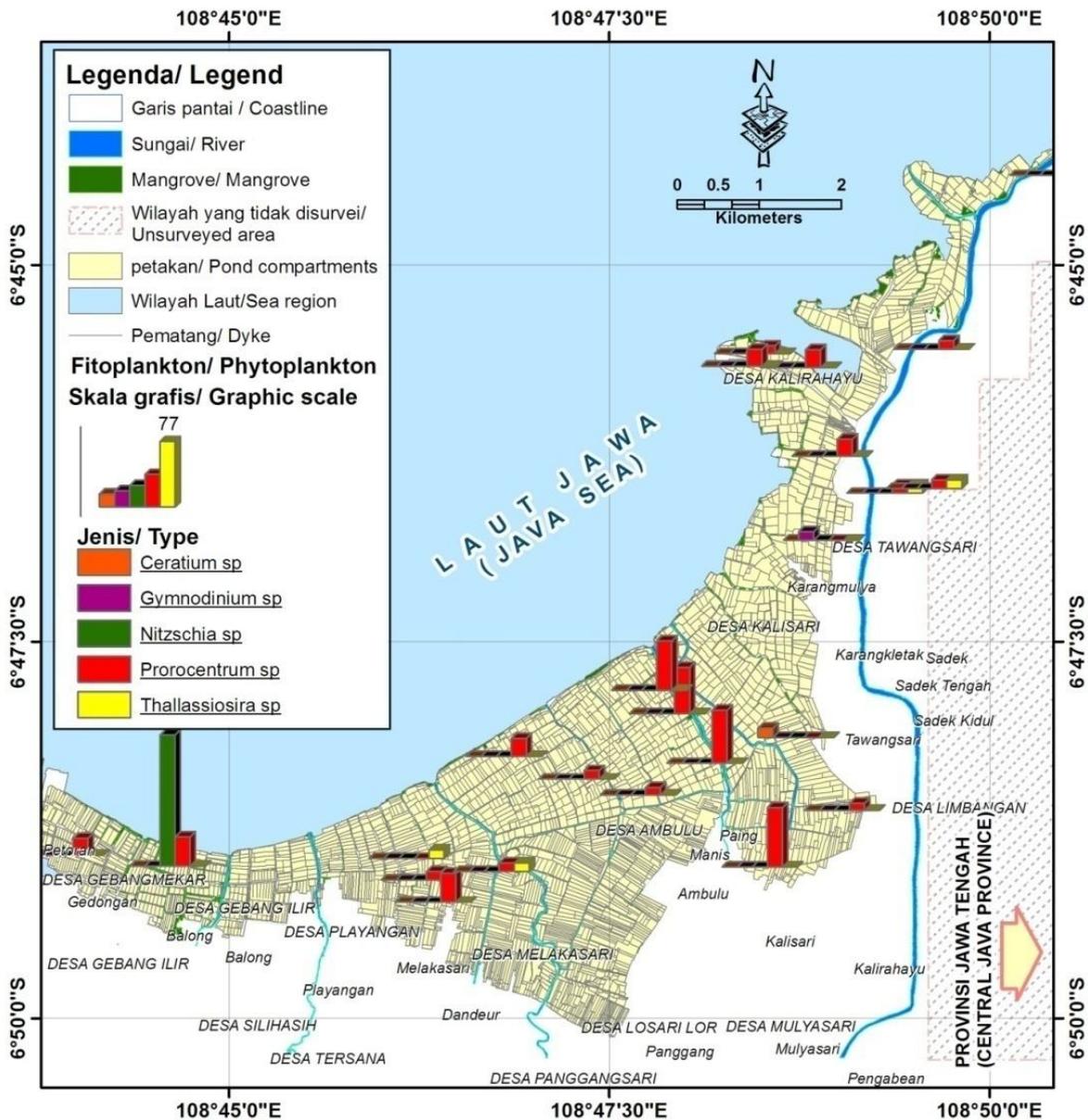
Dendrogram pada Gambar 2 menunjukkan hasil pengelompokan sampel/stasiun berdasarkan variasi nilai indeks kemiripan (*similarity index*) dari plankton. Pada nilai indeks kemiripan (*similarity*) < 50% didapatkan tujuh kelompok (*group*) utama dan 10 sub-kelompok dengan indeks *similarity* 50%-60%. Hasil analisis tersebut menunjukkan adanya variasi spasial dari nilai indeks fitoplankton. Variasi spasial tersebut diduga berkaitan erat dengan adanya variasi peubah

lingkungan tambak seperti kualitas air dan kualitas tanah. Genera atau kelas plankton yang dapat beradaptasi dengan variasi lingkungan akan ditemukan melimpah demikian pula sebaliknya (Larson & Belovsky, 2013). Menurut Garrido *et al.* (2014), perubahan distribusi spasial fitoplankton di perairan pantai dapat berubah meskipun pada musim yang sama.

Jika dilihat lebih jauh struktur dan komposisi plankton di lokasi ini, terdapat hal lain yang perlu mendapatkan perhatian lebih serius sehubungan dengan keberadaan genera fitoplankton yang di

dalamnya terdapat spesies berpotensi HABS (Harmful Algae Blooms). Dari 23 genera yang diidentifikasi terdapat lima genera (21%) meliputi *Prorocentrum*, *Ceratium*, dan *Gymnodinium* dari kelas *Dinophyceae*; *Thalassiosira* dan *Nitzschia* masing-masing dari kelas *Mediophyceae* dan *Bacillariophyceae* yang potensial sebagai HABS. Bahkan salah satu di antaranya yakni spesies dari genus *Prorocentrum* (*Prorocentrum* sp.) ditemukan pada 21 stasiun dari total 45 stasiun dengan kepadatan mencapai 508 sel/L. Peta sebaran spasial jenis dan kepadatan fitoplakton potensial HABS ditampilkan pada Gambar 3. Beberapa spesies dari

genera tersebut saat *blooming* berbahaya karena dapat menyebabkan perairan kerurangan oksigen (*oxygen depletion*) dan perubahan karakteristik kimiawi sedimen sehingga menyebabkan matinya hewan laut dalam jumlah besar. Selain itu, dapat juga menghasilkan toksin dan lewat rantai makanan termakan oleh zooplankton dan kerang-kerangan dan selanjutnya dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti *Amnesic Shellfish Poisoning* (ASP) merupakan penyakit gastrointestinal dan gejala-gejala neurologis yang diakibatkan oleh fitoplankton seperti *Nitzschia pungens*; *Diarrheic Shellfish Poisoning* (DSP) merupakan



Gambar 3. Sebaran spasial jenis dan kepadatan fitoplankton potensial HABS pada kawasan tambak di lokasi penelitian

Figure 3. Spatial distribution of type and density of potentially causative phytoplankton of HABS at brackishwater ponds area in the study region

penyakit gastrointestinal yang disebabkan oleh jenis Dinoflagellata seperti *Prorocentrum* sp., dan *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP) yang disebabkan oleh *Gymnodinium* sp. (Adnan, 1985; Omura *et al.*, 2012; Makmur *et al.*, 2014). Hal ini penting untuk dikaji lebih jauh mengingat kawasan ini sedang mengembangkan komoditas kekerangan utama kerang dara sebagai salah satu produk unggulan budidaya di samping komoditas existing seperti ikan bandeng. Keberadaan jenis fitoplankton dari Dinoflagellata ini juga menjadi indikator kurang stabilnya kondisi lingkungan perairan.

Kualitas Air dan Tanah Tambak

Data kualitas air yang diukur secara *insitu* ditampilkan dalam Tabel 3. Hasil pengukuran kualitas air secara *insitu* menunjukkan bahwa nilai salinitas, suhu, pH, dan oksigen terlarut (DO) air tambak, saluran dan sungai pada umumnya masih dalam kategori layak untuk pertumbuhan organisme akuatik termasuk untuk kegiatan budidaya tambak. Namun demikian secara spesifik nilai suhu air pada beberapa petakan tambak telah melebihi nilai optimum untuk kegiatan budidaya udang khususnya untuk udang windu. Hasil analisis laboratorium kualitas air tambak secara umum menunjukkan bahwa nilai fosfat dan BOT air masih tergolong layak untuk mendukung kegiatan budidaya tambak, namun demikian kandungan $\text{NO}_2\text{-N}$, TAN, nitrat, dan $\text{NO}_3\text{-N}$ harus diperhatikan karena sudah melampaui batas nilai optimum untuk pertumbuhan organisme akuatik sehingga dapat menjadi faktor pembatas.

Kandungan nilai TAN berkisar 0,0013-0,762 mg/L ($0,32 \pm 0,163$), kandungan tersebut umumnya lebih tinggi dibanding dengan nilai baku mutu air laut untuk biota laut, yaitu $< 0,10$ mg/L (MENLH, 2004). Amonia dapat berada dalam bentuk molekul (NH_3) atau bentuk ion NH_4^+ , di mana NH_3 lebih beracun daripada NH_4^+ (Poernomo, 1988). NH_3 dapat menembus bagian membran sel lebih cepat daripada NH_4^+ (Colt & Armstrong, 1981). Konsentrasi NH_3 0,05-0,20 mg/L sudah menghambat pertumbuhan organisme akuatik pada umumnya. Kandungan amonia dan nitrit yang tinggi juga menggambarkan kondisi lingkungan yang tercemar yang biasanya bersumber dari limbah domestik, limbah industri, dan limpasan (*run-off*) pupuk pada pertanian. Selain itu, tingginya kandungan amonia di air tambak juga berhubungan dengan kondisi anaerob dasar tambak karena dekomposisi bahan organik dan karena proses pergantian air tambak yang kurang lancar. Kandungan nitrat air tambak berkisar antara 0,001-0,640 mg/L ($0,0212 \pm 0,0246$). Kandungan tersebut variasinya lebih besar dibanding dengan baku mutu air laut untuk biota laut, yaitu 0,008 mg/L (MENLH, 2004). Bentuk ion nitrat dan amonia

mempunyai peranan penting sebagai sumber N bagi plankton meskipun peranan masing-masing ion tidak sama terhadap berjenis-jenis plankton (Nontji, 1984). Menurut Raymont dalam Nontji (1984), ada jenis plankton yang lebih dahulu menggunakan nitrat dan ada juga lebih dahulu menggunakan amonia.

Kandungan BOT air tambak berkisar dari 18,78-58,32 mg/L ($50,50 \pm 7,42$), lebih bervariasi daripada kandungan air laut umumnya. Menurut Koesbiono (1981), kadar bahan organik total di air laut rata-rata rendah dan tidak melebihi 3 mg/L kemudian disebutkan bahwa bahan organik terlarut bukan hanya sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai sumber bahan organik esensial bagi organisme perairan. Perairan dengan kandungan bahan organik total di atas 26 mg/L adalah tergolong subur (Reid, 1961).

Kandungan $\text{PO}_4\text{-P}$ meskipun secara umum masih dalam kisaran yang layak (0,004-0,520) untuk kegiatan budidaya namun demikian untuk mendapatkan produksi yang maksimal di beberapa lokasi masih diperlukan penambahan pupuk fosfor. Fosfor merupakan unsur yang esensial bagi tanaman tingkat tinggi dan alga akuatik karena berperan penting dalam transfer energi dan dalam pembentukan membran sel, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tanaman dan alga akuatik, serta sangat memengaruhi tingkat produktivitas perairan (Davis & Cornwell, 1991).

Hasil analisis statistik deskriptif untuk data kualitas tanah ditampilkan dalam Tabel 4. Seperti halnya dengan nilai peubah kualitas air, kualitas tanah untuk unit pertambakan secara umum tergolong baik mendukung biota laut. Nilai pH_f tanah berkisar antara 6,16-7,98 sehingga masih ideal dan tidak akan menjadi faktor pembatas untuk organisme akuatik termasuk untuk kegiatan budidaya. Menurut Karthik *et al.* (2005), tanah tambak dengan pH_f antara 6,5 dan 8,5 tergolong baik karena faktor pembatasnya sehubungan dengan efek kemasaman sangat mudah sekali diatasi. Nilai selisih pH_f dan pH_{FOX} ($\text{pH}_f - \text{pH}_{\text{FOX}}$) yang merupakan indikator kemasaman potensial lahan dengan kisaran 0,0-1,23 ($0,41 \pm 0,35$) juga masih dalam kategori layak untuk kegiatan budidaya. Semakin besar nilai $\text{pH}_f - \text{pH}_{\text{FOX}}$ menunjukkan semakin besar potensi kemasaman pada tanah sulfat masam.

Nilai fosfat berkisar 31,99-180,88 ($79,16 \pm 28,34$). Nilai ini menunjukkan bahwa walaupun status kesuburan lahan umumnya tergolong baik, akan tetapi di beberapa lokasi ditemukan telah melampaui standar optimum untuk organisme akuatik pada umumnya. Kandungan fosfat yang paling tinggi ditemukan di sekitar hamparan tambak intensif dan pada tambak-tambak yang berbatasan dengan sawah. Tingginya kandungan fosfat di sekitar tambak intensif dapat

Tabel 3. Kualitas air berdasarkan hasil pengukuran *insitu* dan analisis laboratorium untuk petak-petak tambak di lokasi penelitian
 Table 3. *Water quality based on insitu and laboratory analysis of samples collected from pond units in the study region*

| Peubah Variable | Nilai Value | Nilai yang layak Suitable value* |
|---|----------------|-------------------------------------|
| Pengukuran <i>insitu</i> <i>Insitu measurement</i> (n = 63) | | |
| Salinitas <i>Salinity</i> (ppt) | 25.44 ± 7.08 | 5-34 |
| Suhu <i>Temperature</i> (°C) | 32.97 ± 1.67 | 21-32 |
| pH | 8.25 ± 0.27 | 6.5-9.0 |
| Oksigen terlarut <i>Dissolved oxygen</i> (mg/L) | 5.62 ± 1.18 | 4-10 |
| Analisis laboratorium <i>Laboratory analysis</i> (n = 45) | | |
| Nitrit <i>Nitrite</i> NO ₂ -N (mg/L) | 0.09 ± 0.16 | < 0.05 |
| TAN <i>Total amonia nitrogen</i> (mg/L) | 0.32 ± 0.16 | < 0.10 |
| Nitrat <i>Nitrate</i> NO ₃ -N (mg/L) | 0.64 ± 0.67 | < 0.30 |
| Fosfat <i>Phospate</i> PO ₄ -P (mg/L) | 0.04 ± 0.07 | 0.01-0.10 |
| Bahan organik total (BOT) <i>Total organic matter (TOM)</i> (mg/L) | 50.50 ± 7.42 | 26 - 60 |

Sumber (Source): * Poernomo (1988); Boyd (1995); Karthik *et al.* (2005); Mustafa *et al.* (2007)

Tabel 4. Kualitas tanah berdasarkan sampel tanah dasar tambak di lokasi penelitian (rata-rata ± standar deviasi; n= 65)
 Table 4. *Soil quality based on soil samples collected from pond bed in the study region (mean ± standard deviation; n=65)*

| Peubah Variable | Nilai Value | Nilai optimum Optimum value* |
|--|----------------|---------------------------------|
| pH _F | 7.06 ± 0.32 | 6.5-8.5 |
| pH _F -pH _{FOX} | 0.41 ± 0.35 | < 1.0 |
| Fosfat (<i>Phospate</i>) (P-PO ₄) (mg/L) | 79.16 ± 28.34 | 35-46 |
| Total nitrogen <i>Nitrogen total</i> (N _{TOT}) (%) | 0.07 ± 0.025 | > 0.21 |
| Bahan organik total (BOT) <i>Total organic matter (TOM)</i> (%) | 1.73 ± 0.876 | 3.5-6.0 |

Sumber (Source): * Boyd & Wood (2002); Ilyas *et al.* (1987); Sammut (2002)

berasal dari air dan sedimen limbah tambak sisa pakan yang tidak dimanfaatkan dan limbah hasil metabolisme udang saat budidaya. Aplikasi pupuk fosfat berlebih di lahan pertanian juga pada akhirnya akan terbawa oleh air melalui saluran sawah yang menyatu dengan saluran tambak.

Keterkaitan Spasial Peubah Lingkungan dan HABS

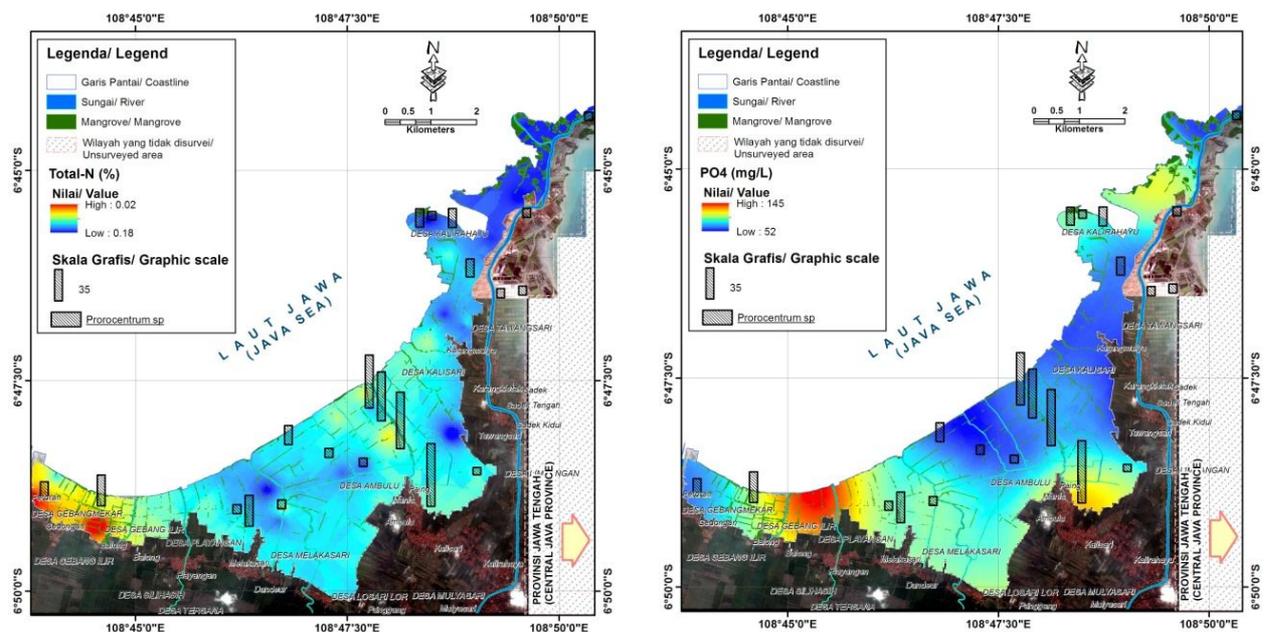
Hasil analisis korelasi antara kualitas lingkungan (tanah dan air) terhadap kelimpahan dan indeks biologi fitoplankton menunjukkan bahwa peubah kualitas air TAN berpengaruh nyata secara linear positif terhadap jumlah individu (*species richness*), kelimpahan dan indeks keanekaragaman fitoplankton; sebaliknya BOT memberikan pengaruh linear negatif. Untuk peubah kualitas tanah, N_{TOT} tanah berpengaruh nyata terhadap kelimpahan fitoplankton, selanjutnya N_{TOT} berkorelasi positif terhadap nilai EC (DHL) tanah. Uji lebih lanjut untuk mengetahui peubah kualitas air dan tanah yang berpengaruh terhadap kelimpahan total fitoplankton berpotensi HABS menunjukkan jika kelimpahan total utamanya dipengaruhi oleh kualitas tanah sesuai model persamaan linier berganda berikut.

$$Y = 3,489 - 2,75 X_1 - 0,06 X_2 + 0,13 X_3 + 24,2 X_4 + 0,689 X_5 + 0,23 X_6$$

Peubah tanah X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , dan X_6 masing-masing mewakili peubah pH_r , DHL, BOT, N_{TOT} , PO_4 , dan

kandungan liat tanah dasar tambak. Nilai koefisien korelasi (R) = 0,71 menunjukkan hubungan yang cukup kuat antara variabel independen dengan Y (kelimpahan HABS). Selanjutnya nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,513 mengindikasikan bahwa 51% kelimpahan HABS tersebut ditentukan oleh kombinasi keenam variable tanah diperhitungkan, sedangkan 49% lain ditentukan oleh faktor lain yang tidak dipertimbangkan dalam model persamaan. Pada kasus ini dengan nilai probabilitas (p) = 0,002 ($< 0,05$), maka model persamaan yang digunakan dapat diterima. Dari nilai signifikansi peubah independen, hanya N_{TOT} yang berpengaruh secara signifikan terhadap keberadaan HABS di lokasi penelitian dengan nilai t_{hitung} (4,065) lebih besar dari t_{tabel} (2,052). Untuk pengaruh kualitas air nilai, sig (p) = 0,139 atau $p > 0,05$ sehingga model dan semua variabel independen yang dimasukkan tidak berpengaruh terhadap keberadaan spesies fitoplankton potensial HABS.

Analisis secara spesifik yang dilakukan untuk melihat pengaruh peubah lingkungan terhadap keberadaan salah satu spesies potensial HABS yakni *Prorocentrum* sp. juga menunjukkan jika kelimpahan spesies tersebut utamanya ditentukan oleh N_{TOT} ($p = 0,001$), PO_4 ($p = 0,002$), dan bahan organik tanah ($p = 0,018$). Bahan organik total berpengaruh secara negatif atau peningkatan konsentrasi bahan organik total menyebabkan penurunan kelimpahan *Prorocentrum* sp., sebaliknya N_{TOT} dan PO_4 berpengaruh secara linier positif terhadap kelimpahan *Prorocentrum*



Gambar 4. Keterkaitan spasial antara peubah kualitas tanah (A = N_{TOT} dan B = PO_4) dengan nilai kelimpahan *Prorocentrum* sp.

Figure 4. Spatial relationship between soil quality (A= N_{TOT} dan B= PO_4) and the density value of *Prorocentrum* sp.

sp. Demikian halnya dengan hasil uji keterkaitan antara peubah kualitas lingkungan dengan kelimpahan total genera HABs, maka kualitas air juga didapatkan tidak berpengaruh nyata terhadap kelimpahan *Prorocentrum* sp. Keterkaitan spasial antara kelimpahan *Prorocentrum* sp. dengan nilai N_{Total} dan PO_4 tanah ditampilkan pada Gambar 4.

Hasil analisis tersebut secara umum menunjukkan bahwa keberadaan spesies fitoplankton potensial HABs diawali dengan perubahan kondisi lingkungan dari karakteristik awal. Interpretasi data kualitas air dan kualitas tanah sebelumnya menjadi indikator adanya perubahan kondisi lingkungan bahkan kerusakan habitat yang memengaruhi atau dipengaruhi kenaikan suhu air tambak, salinitas, dan komposisi elemental nutrien di air dan tanah tambak. Menurut Kudela *et al.* (2015), aktivitas-aktivitas manusia yang berkontribusi terhadap kejadian HABs dapat berupa polusi nutrien, pemanfaatan intensif dan konversi wilayah pesisir, dan aktivitas yang berpengaruh pada pola sirkulasi alami perairan. Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa pada petakan di mana ditemukan spesies potensial HABs yang tinggi seperti di Desa Ambulu juga terdapat usaha peternakan ayam di atas tambak, limbah domestik dari pemukiman yang padat, limbah pestisida dan pupuk dari persawahan, dan budidaya bawang merah. Perubahan karakteristik lingkungan tersebut cenderung lebih menguntungkan atau menunjang keberadaan spesies fitoplankton potensial HABs.

Kenaikan suhu dari kondisi normal dapat meningkatkan kompetisi antara fitoplankton termasuk kompetisi antara fitoplankton HABs (US-EPA, 2013). Densitas (*density*) air tambak sangat dipengaruhi oleh perbedaan suhu dan variasinya dalam kolom air (stratifikasi suhu). Menurut Kutty (1987), stratifikasi suhu (*thermal stratification*) dapat terjadi pada tambak dengan kedalaman 1,5-2 m di mana perbedaan suhu permukaan dapat mencapai 7°C. Selanjutnya dijelaskan oleh Kutty (1987) bahwa pada siang hari suhu air tambak yang keruh lebih tinggi dibandingkan yang lebih jernih dan bilamana *blooming* alga terjadi pada permukaan air tambak maka suhu permukaan yang semula 31°C dapat berubah menjadi 35°C (tergantung radiasi matahari), sementara suhu air yang lebih dalam tetap. Stratifikasi suhu pada tambak-tambak tradisional dapat juga terjadi bilamana pergantian air susah dilakukan dan *layout* tambak secara alami tidak mendukung arah/energi angin untuk terjadinya pengadukan (*mixing of layers*). Peningkatan suhu menyebabkan penurunan viskositas air yang menyebabkan peningkatan kecepatan gerak organisme akuatik yang lebih kecil seperti Cyanobacteria untuk membentuk *blooms*. Cyanobacteria memiliki kemampuan mengontrol kedalaman (bergerak ke

kedalaman yang diinginkan (US-EPA, 2013)). Sehingga bilamana terjadi stratifikasi suhu menurut kedalaman, spesies dari grup tersebut, dengan kemampuan membentuk gas *vesicles*, dapat mengapung atau berenang ke permukaan membentuk *blooms* di permukaan (*dense surface blooms*) yang pada akhirnya menghambat organisme atau fitoplankton lainnya yang tinggal pada lapisan yang lebih dalam dan terhalang dari penetrasi cahaya. Di samping itu, *blooming* di permukaan juga berkontribusi meningkatkan suhu di permukaan yang mendukung pertumbuhan fitoplankton HABs.

Kemampuan fitoplankton HABs untuk berenang cepat ke permukaan air juga meningkatkan aksesibilitas dalam pemanfaatan karbon dioksida (CO_2) yang dibutuhkan untuk pertumbuhan melalui mekanisme fotosintesis. Kemampuan memanfaatkan nutrien dan melakukan fotosintesis untuk mengonversi karbon menjadi biomassa alga atau fitoplankton menyebabkan terjadinya *blooming* dan sebagian besar mati dan terdekomposisi ke dasar tambak. Surplus bahan organik pada sedimen tambak hasil dekomposisi fitoplankton atau alga menyebabkan peningkatan konsumsi oksigen dan peningkatan karbondioksida pada bagian dasar yang tidak terjadi sirkulasi air (*low-oxygen dead zones*). Hasil dari mekanisme ini berkontribusi pada peningkatan kemasaman tanah dan air pada dasar tambak (pH rendah). Perubahan karakteristik kimia air dan sedimen ini sekali lagi menciptakan situasi kompetitif antara fitoplankton HABs dan spesies fitoplankton lainnya dan menurunkan kemampuan predasi dari zooplankton terhadap alga atau fitoplankton.

Nilai salinitas yang tinggi pada daerah yang semula merupakan perairan tawar seperti tambak berbatasan dengan sawah menciptakan kondisi di mana fitoplankton air asin (laut) dapat melakukan invasi jauh ke wilayah daratan. Kondisi seperti ini dapat dijumpai pada kawasan tambak Desa Ambulu, kawasan dengan ekstensifikasi tambak paling luas ke arah darat. Umumnya fitoplankton HABs yang memproduksi toksin (Cyanobacteria, Dinoflagellata) memiliki toleransi yang tinggi pada kondisi kadar garam tinggi. Ekstensifikasi tambak dengan desain dan konstruksi yang kurang optimum akan memperburuk kondisi tersebut sehubungan dengan *tide flushing* yang menjadi tidak efektif. Pada kondisi ini juga didapatkan akumulasi bahan organik yang tinggi yang bersumber dari hasil dekomposisi fitoplankton. Proses dan perubahan kondisi lingkungan yang tidak lazim tersebut mendorong terjadinya dominansi fitoplankton dari jenis tertentu yang memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi, dalam hal ini umumnya dari jenis fitoplankton potensial HABs.

Hasil analisis spasial kualitas peubah air dan tanah secara lebih jelas menunjukkan bahwa setelah terjadi kompetisi antara spesies yang berakhir pada dominansi spesies fitoplankton potensial HABs, maka kelimpahan jenis selanjutnya ditentukan oleh kandungan atau rasio nutrisi esensial yang terdapat pada tanah dasar tambak. Menurut Tilman (1977); Anderson *et al.* (2002), bahwa seleksi lingkungan dari spesies plankton di wilayah pesisir berkaitan erat dengan ketersediaan relatif dari nutrisi spesifik, yang mana aktivitas manusia telah merubah pasokan dan rasio alami dari nutrisi tersebut yang berakibat pada perubahan struktur dan komposisi komunitas plankton dan kemungkinan justru disenangi oleh spesies-spesies HABs. Dari hasil tersebut terlihat bahwa nilai N_{TOT} tanah nampaknya menjadi peubah kunci terhadap keberadaan fitoplankton pada umumnya dan juga secara spesifik terhadap spesies plankton berpotensi HABs. Pada petakan tambak dengan kandungan N_{total} dan PO_4 tanah lebih tinggi juga ditemukan *Prorocentrum* sp. dengan kelimpahan yang lebih tinggi (Gambar 4). Dengan demikian meskipun sulit, potensi mitigasi, dan pencegahan kejadian HABs di lokasi penelitian dapat diupayakan melalui pengaturan rasio nutrisi (N/P) terutama yang berhubungan dengan aktivitas-aktivitas manusia.

Dari aspek keberlanjutan kegiatan budidaya tambak di lokasi penelitian, teridentifikasinya spesies plankton potensial HABs seharusnya menjadi peringatan keras mengenai adanya perubahan kualitas lingkungan sebagai akibat kesalahan pengelolaan dan pemanfaatan kawasan termasuk kegiatan operasional budidaya tambak. Pada kondisi demikian, kejadian HABs dapat terjadi sewaktu-waktu dan sesuai dengan sifatnya dapat menjadi ancaman serius baik langsung maupun tidak langsung terhadap produktivitas dan keberlanjutan kegiatan budidaya tambak. Penataan kawasan budidaya sudah harus mempertimbangkan potensi terjadinya HABs, sehingga ada upaya mitigasi dan pencegahan dini dengan mempertimbangkan peubah kunci yang diidentifikasi. Secara praktis proses remediasi berupa pengeringan dan pembilasan tambak sempurna dalam tahapan persiapan tambak dapat memperbaiki dan mengendalikan peubah kunci kesuburan tanah dan perairan. Untuk mendukung upaya remediasi tersebut perlu dilakukan revitalisasi saluran primer dan sekunder tambak. Selanjutnya restorasi hutan mangrove utamanya di daerah penyangga dan pembuatan daerah penyangga untuk penggunaan lahan yang berdekatan dengan kawasan tambak (*buffer land-use*) wajib dilakukan untuk mengembalikan status kesuburan lahan tambak dan fungsi ekologis kawasan. Upaya rehabilitasi tersebut juga harus dibarengi dengan kegiatan monitoring dan evaluasi terutama untuk kegiatan ekstensifikasi lahan

budidaya, aplikasi pakan buatan, dan *input* bahan kimia (pupuk dan pestisida). Karena keberadaan HABs juga berkaitan dengan aktivitas pemanfaatan lahan lain seperti industri, lahan pertanian, peternakan, dan pemukiman maka dibutuhkan kerja sama dan kesepahaman multisektoral.

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini secara umum dapat disimpulkan bahwa struktur dan komposisi fitoplankton di lokasi penelitian dipicu dari adanya perubahan karakteristik lingkungan pada kawasan tambak yang menciptakan kondisi kompetitif yang umumnya menguntungkan genera fitoplankton yang berpotensi menyebabkan HABs. Setelah melewati proses seleksi lingkungan, kelimpahan fitoplankton potensial HABs di kawasan tambak utamanya dipengaruhi oleh variasi spasial ketersediaan dan rasio nutrisi esensial N dan P pada tanah atau sedimen dasar tambak. Kegiatan mitigasi dan preventif yang dapat dilakukan sehubungan dengan keberadaan fitoplankton berpotensi HABs di tambak antara lain melalui perbaikan tahapan persiapan tambak seperti pengeringan dan pembilasan, revitalisasi saluran untuk meningkatkan *flushing rate*, pengaturan rasio nutrisi (N/P) melalui pengontrolan dan pengawasan aplikasi pupuk dan pestisida, dan penanaman kembali bakau terutama pada kawasan penyangga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf teknis lapang Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau (Muh. Arnold dan Haking Madeng) atas bantuannya dalam kegiatan survai lapang. Juga terima kasih kepada staf laboratorium tanah, air, dan plankton (Dra. Rosiana Sabang, Rahmiah, Siti Rohani, dan Irmayani, S.Pi.) atas bantuannya dalam analisis sampel di laboratorium.

DAFTAR ACUAN

- Adnan, Q. (1985). Red tide. *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*, X(2), 48-55.
- Aguilar-Manjarrez, J., Kapetsky, J.M., & Soto, D. (2010). The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture. *Paper presented at the FAO/Rome Expert Workshop, 19-21 November 2008, Rome, Italy*, 176 pp.
- Ahern, C.R., McElnea, A.E., & Sulivian, L.A. (2004). Acid sulfate soils laboratory methods guidelines. In Ahern, C.R., McElnea, A.E., & Sulivian, L.A. (Eds.). *Queensland acid sulfate soils manual 2004* (p. F1-1, I2-4). Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia, p. F1-1, I2-4.

- Anderson, D.M., Glibert, P.M., & Burholder, J.A.M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4b), 704-726.
- AntaraneWS. (2006). Dua ribu (2.000) hektar pantai Cirebon perlu dihijaukan dengan mangrove. Diakses 2 November 2015, dari <http://www.antaraneWS.com/berita/33598/>
- APHA. (2005). Standard methods for examination of water and wastewater. 21st edition, Centennial edition. APHA (American Public Health Association) –AWWA - WEF. Washington, D.C., 1,288 pp.
- Baliao, D.D., & tookwinas, S. (2002). Best management practices for a mangrove-friendly shrimp farming. Aquaculture Dept., Southeast Asian Fisheries Development Center. California, 50 pp.
- Bappeda Cirebon. (2014). Rencana pembangunan jangka menengah daerah (RPJMD) Kabupaten Cirebon 2014-2019. Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah (Bappeda), Pemerintah Kabupaten Cirebon, 255 hlm.
- Basmi. H.J. (2000). Planktonologi: Plankton sebagai indikator kualitas perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor, 60 hlm.
- Berita Cirebon. (2015). Tujuh sungai di Cirebon tercemar limbah. Diakses 2 Desember, 2015, dari <http://www.beritacirebon.com/news/>
- Boyd, C.E. (1995). *Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. Chapman and Hall. New York, 348 pp.
- Boyd, C.E., & Wood, C.W. (2002). *Aquaculture pond bottom soil quality management. Pond/dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program Oregon State University*. Oregon. 41 pp.
- Colt, J.E., & Armstrong, D.A. (1981). Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and molluscs. In Men, L.J., & Kinney, E.C. (Eds.). *Proceeding of the Bio-Engineering Symposium for Fish Culture*. Fish Culture Section, American Fisheries Society, Northeast Society of Conservation Engineers. Bethesda, 3,447 pp.
- Davis, M.L., & Cornwell, D.A. (1991). Introduction to environmental engineering. Second edition. McGraw-Hill, Inc. New York, 822 pp.
- Djuwansah, M.R., & Rusydi, A.F. (2012). Daya dukung sumber daya air (DDSA). Kota Cirebon dan sekitarnya. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 22(1), 35-48.
- DKP Cirebon (2012). Laporan tahunan Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Cirebon Tahun 2012. Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Cirebon, 140 hlm.
- FAO. (1995). Code of conduct for responsible fisheries. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 41 pp.
- Garrido, M., Koeck, B., Goffart, A., Collignon, A., Hecq, J.-H., Agostini, S., & Lejeune, P. (2014). Contrasting patterns of phytoplankton assemblages in two coastal ecosystems in relation to environmental factors (Corsica, NW mediterranean Sea). *Diversity*, 6, 296-322.
- Graham, J.L. (2007). Harmful algal blooms. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. Fact Sheet 2006 3147.
- Hasani, Q., Adiwilaga, E.M., & Pratiwi, N.T.M. (2012). The relationship between the harmful algal blooms (HABs) phenomenon with nutrients at shrimp farms and fish cage culture sites in Pesawaran District Lampung Bay. *Makara Journal of Science*, 16(3), 183-191.
- Ilyas, S., Cholik, F., Poernomo, A., Ismail, W., Arifudin, R., Daulay, T., Ismail, A., Koesoemadinata, S., Rabegnatar, I N.S., Soepriyadi, H., Suharto, H.H. Azwar, Z.I. dan Ekowardoyo, S. (1987). Petunjuk Teknis bagi Pengoperasian Unit Usaha Pembesaran Udang Windu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Jakarta, 99 hlm.
- Karthik, M., Suri, J., Saharan, N., & Biradar, R.S. (2005). Brackish water aquaculture site selection in Palghar Taluk, Thane district of Maharashtra, India, using techniques of remote sensing and geographical information system. *Aquaculture Engineering*, 32, 285-302.
- Koesbiono. 1981. *Biologi Laut*. Bogor: Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor. 150 hlm.
- Kudela, R.M., Berdalet, E., Bernard, S., Burford, M., Fernand, L., Lu, S., Roy, S., Tester, P., Usup, G., Magnien, R., Anderson, D.M., Cembella, A., Chinain, M., Hallegraeff, G., Reguera, B., Zingone, A., Enevoldsen, H., & Urban, E. (2015). Harmful algal blooms: A scientific summary for policy makers. IOC/UNESCO. Paris, 19 pp.
- Kuty, M.N. (1987). Site selection for aquaculture: physical features of water. African Regional Aquaculture Centre (ARAC) & FAO Fisheries and Aquaculture Departement. Nigeria. ARAC/87/WP/12(8).
- Larastiti, R. (2011). *Estimasi nilai dan dampak ekonomi pemanfaatan sumberdaya pesisir sebagai kawasan budidaya ikan bandeng di Desa Ambulu, Kecamatan Losari, Kabupaten Cirebon*. Skripsi. Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan Fakultas Ekonomi dan Manajemen. Institut Pertanian Bogor. Bogor, 98 hlm.
- Larson, C.A., & Belovsky, G.E. (2013). Salinity and nutrients influence species richness and evenness of phytoplankton communities in microcosm ex-

- periments from Great Salt Lake, Utah, USA. *Journal of Plankton Research*, 0, 1-13.
- Makmur, M., Meorsidik, S.S., Wisnubroto, D.S., & Kusnopranto, H. (2014). Kajian risiko kesehatan konsumen kerang hijau yang mengandung saksitoksin di Cilincing Jakarta Utara. *Jurnal Ekologi Kesehatan*, 13(2), 165-178.
- Melville, M.D. (1993). Soil laboratory manual. School of Geography, The University of New South Wales, Sydney. Australia, 74 pp.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup [MENLH]. (2004). Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP-51/MENLH/2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut, Lampiran III. hlm. 1.497-1.498.
- Menon, R.G. (1988). Soil and water analysis: A laboratory manual for the analysis of soil and water. Proyek Survei O.K.T. Sumatera Selatan. Palembang, 191 hlm.
- Mustafa, A. (2007). *Improving acid sulfate soils for brackishwater aquaculture ponds in South Sulawesi, Indonesia*. PhD Thesis. The University of New South Wales, Sydney. Australia, 408 pp.
- Newell, G.E., & Newell, R.C. (1977). Marine plankton. A practical guide (5 ed.). Hutchinson Educational, New York. USA, 244 pp.
- Nontji, A. (1984). *Biomassa dan produktivitas fitoplankton di perairan Teluk Jakarta serta kaitannya dengan faktor-faktor lingkungan*. Disertasi. Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor, 94 hlm.
- Omura, T., Iwataki, M., Borja, V.M., Takayama, H., & Fukuyo, Y. (2012). Marine phytoplankton of the Western Pacific. Koseishakoseikaku, Tokyo. Japan, 160 pp.
- Paerl, H.W. (1988). Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters. *Limnol. Oceanogr*, 33(4/2), 823-847.
- Parsons, T.R., Maita, Y., & Lalli, C.M. 1989. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford, 173 pp.
- Pikiran-Rakyat (2014). Curah Hujan Tinggi, Warga Diminta Waspada Banjir. Diakses 5 Desember 2014 dari: <http://www.pikiran-rakyat.com/jawa-barat/2014/02/17/270462/curah-hujan-tinggi-warga-diminta-waspada-banjir>.
- Pirzan, A.M., Masak, P.R.P., & Utojo. (2006). Keragaman fitoplankton pada lahan budidaya tambak di kawasan pesisir Donggala dan Parigi Moutong, Sulawesi Tengah. *J. Ris. Akuakultur*, 1(3), 359-372.
- Poernomo, A. (1988). Pembuatan tambak udang di Indonesia. Departemen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai. Maros, 30 hlm.
- Polikarpov, I., Al-Yamani, F., & Saburova, M. (2009). Space-time variability of phytoplankton structure and diversity in the North-Western part of the Arabian gulf (Kuwait's Waters). *Bio Risk*, 3, 83-96.
- Ray, P., & Rao, N.O.S. (1964). Density of fresh water diatom in relations to some physico chemical condition of water. *Indian Journal Fish*, 11(1), 479-484.
- Reid, G.K. (1961). Ecology of inland water estuaries. Rein Hald Published Co. New York, 37 pp.
- Sammut, J. (2002). Land capability assessment and classification for sustainable pond-based aquaculture systems (ACIAR FIS/2002/076): Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) & University of New South Wales (UNSW). <http://aciarc.gov.au/project/FIS/2002/076>.
- Siegel, A., Cotti-Rausch, B., Greenfield, D.I., & Pinckney, J.L. (2011). Nutrient controls of planktonic cyanobacteria biomass in coastal stormwater detention ponds. *Marine Ecology Progress Series*, 434, 15-27.
- Silitonga, P.H., Masria, M., & Suwarna, N. (Cartographer). (1996). Peta geologi lembar Cirebon, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung, 1 hlm.
- Stafford, C. (1999). A guide to phytoplankton of aquaculture ponds: Collection, analysis and identification. DPI Publications. QLD. Brisbane, 59 pp.
- Sulaeman, Suparto, & Eviati. (2005). Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk. Diedit oleh: Prasetyo, B.H., Santoso, D., & Widowati, L.R. Balai Penelitian Tanah, Departemen Pertanian. Bogor, 136 hlm.
- Tilman, D. (1977). Resource Competition between Plankton Algae: An Experimental and Theoretical Approach. *Ecology*, 58, 338-348. doi: 10.2307/1935608.
- Tribun News. (2014). Lahan seluas 461 hektar tercemar limbah industri batu alam. Diakses 5 Desember 2015, dari <http://m.tribunnews.com/regional/2014/10/09/lahan-seluas-461-hektar-tercemar-limbah-industri-batu-alam>
- US-EPA. (2013). Impacts of climate change on the occurrence of harmful algal blooms. (EPA 820-S-13-001), 3 pp.
- Widodo. J. (1997). Biodiversitas sumber daya perikanan laut peranannya dalam pengelolaan terpadu wilayah pantai. Dalam Mallawa, A., Syam, R., Naamin, N., Nurhakim, S., Kartamihardja, E.S., Poernomo, A., & Rachmansyah (Eds.). *Prosiding Simposium Perikanan Indonesia II*. Ujung Pandang, 2-3 Desember 1997. hlm. 136-141.
- Wimpenny, R.S. (1966). The plankton of the sea (Vol. 1). Faber and Faber LTD. London, 426 pp.