



UNIVERSITAS INDONESIA

**SEBARAN SPASIOTEMPORAL SPESIES *HARMFUL ALGAL BLOOM* (HAB) DI LOKASI BUDIDAYA KERANG HIJAU (*Perna viridis*) KAMAL MUARA, JAKARTA UTARA**

**SKRIPSI**

**MULYANI  
0806315553**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI BIOLOGI  
DEPOK  
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SEBARAN SPASIOTEMPORAL SPESIES *HARMFUL ALGAL BLOOM* (HAB) DI LOKASI BUDIDAYA KERANG HIJAU (*Perna viridis*) KAMAL MUARA, JAKARTA UTARA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

**MULYANI  
0806315553**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI BIOLOGI  
DEPOK  
JANUARI 2012  
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Mulyani

NPM : 0806315553

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Januari 2012

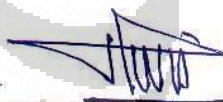
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh


Nama : Mulyani  
NPM : 0806315553  
Program Studi : S1-Biologi  
Judul Skripsi : Sebaran spasiotemporal spesies *Harmful Algal Bloom*  
(HAB) di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*)  
Kamal Muara, Jakarta Utara

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Drs. Wisnu Wardhana, M.Si (..........)

Pembimbing II : Riani Widiarti, S.Si, M.Si (..........)

Penguji I : Dra. Titi Soedjiarti, SU (..........)

Penguji II : Dr.rer.nat. Mufti P. Patria, M.Sc (..........)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Januari 2012

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil'alamiin, segala puji bagi Allah Subhanahuwata'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Shalawat dan salam juga senantiasa mengiringi Rasulullah SAW. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa sekecil apapun kontribusi dari berbagai pihak, saat masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini, sangatlah berharga dan hadiah yang luar biasa dalam hidup. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Wisnu Wardhana, M.Si dan Riani Widiarti S.Si, M.Si., yang sangat luar biasa, karena telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memotivasi dan mengarahkan penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini;
2. Dr. rer. nat. Mufti P. Patria, M.Sc selaku penguji sekaligus Ketua Departemen Biologi FMIPA UI dan Dra. Titi Soedjiarti SU selaku penguji dan Koordinator Pendidikan atas masukan dan bimbingan yang konstruktif demi penyempurnaan skripsi ini;
3. Dra. Nining Betawati Prihantini, M.Sc. selaku Sekretaris Departemen Biologi FMIPA UI; Dra. Setiorini, M.Kes dan Dr. Wibowo Mangunwardoyo, M.Sc selaku Koordinator Seminar.
4. Dr. Susiani Purbaningsih, DEA selaku penasehat akademik, yang telah menjadi ibu kedua dan selalu menjadi inspirator bagi penulis;
5. Seluruh staf pengajar Departemen Biologi FMIPA UI atas motivasi dan ilmunya yang luar biasa, Almarhum Drs. Ellyzar I.M.Adil dan Drs. Sunarya Wargasasmita, serta Almarhumah Dra. Boen S. Oemardjati, atas saran dan bekal ilmu yang berharga bagi penulis;
6. Seluruh karyawan di Departemen Biologi FMIPA UI, terutama Bu Ida, Bu Asri, Bu Ros, Pak Taryana, Pak Taryono, Bu Siti, Bu Aam, dan Bu Sofie yang senantiasa membantu saat penelitian dan penyusunan skripsi;

7. Kedua orang tua penulis yang sangat luar biasa, Bapak Hasan Djafari dan Ibu Karnamah tersayang, beserta seluruh saudara-saudari, terutama Kakak penulis Dzuliyati, Tin Karnawati, Malinda, Yuningsih, Adi Muhadi, Miswandi, dan Dedi Mulyadi yang tidak hentinya menyemangati penulis;
8. Rekan-rekan armada Biologi Kelautan FMIPA UI (Oji, Okky, Uci, Yudi, Yuan, Titis, Jane, Widi, Anarga, dan Idham) dan Bu Tatik tersayang, atas bantuan selama penelitian berlangsung. Begitu juga Pak Yunus dan Mas Luqman dari Kamal Muara atas kapal dan kerang hijaunya. Rekan-rekan asisten laboratorium struktur hewan, keanekaragaman hewan, fisiologi hewan, dan fisiologi tumbuhan.
9. Teman-teman yang tulus hati memberikan ilmu, dukungan moril, dan do'a selama kuliah, penelitian, dan skripsi: Baliveau (angkatan 2004), Bi05phere (angkatan 2005), Felix (angkatan 2006), Blossom (angkatan 2007), Bi0s8ntris (angkatan 2008), Zygomorpis (angkatan 2009), B10genesis (angkatan 2010), dan Bac11lus (angkatan 2011).
10. Rekan-rekan seperjuangan atas pengalaman dan keceriaan berharga.

Penulis menyadari banyaknya kekurangan dalam skripsi ini, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan. Penulis berharap semoga tulisan ini dapat berguna bagi pembaca, baik penulis sendiri maupun para peneliti lain.

Depok, 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mulyani  
NPM : 0806315553  
Program Studi : S1-Biologi  
Departemen : Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Sebaran spasiotemporal spesies *Harmful Algal Bloom* (HAB) di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*), Kamal Muara, Jakarta Utara.

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 9 Januari 2012

Yang menyatakan,



(Mulyani)

## ABSTRAK

Nama : Mulyani  
Program Studi : Biologi  
Judul : Sebaran Spasiotemporal Spesies *Harmful Algal Bloom* (HAB) di Lokasi Budidaya Kerang Hijau (*Perna viridis*), Kamal Muara, Jakarta Utara

Telah dilakukan penelitian tentang sebaran spasiotemporal spesies HAB di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*), Kamal Muara, Jakarta Utara pada bulan Mei-Oktober 2011. Sampel diambil secara vertikal di sembilan stasiun dengan *plankton-net*, dan dilakukan pula pengukuran parameter lingkungan. Spesies HAB yang ditemukan berasal dari kelas Raphidophyceae, Bacillariophyceae, dan Dinophyceae, didominasi oleh *Ceratium furca*, *Chaetoceros* spp., *Gonyaulax polygramma*, *Nitzschia* spp., *Prorocentrum micans*, *Skeletonema costatum*, dan *Thalassiosira* spp.. Berdasarkan peta isoplank diketahui bahwa sebaran terpadat terjadi pada bulan Mei dan Oktober, yaitu di stasiun dekat muara. Berdasarkan Analisis Komponen Utama (AKU) dan Analisis Faktorial Korespondensi (AFK), diketahui bahwa terdapat perbedaan faktor lingkungan penciri di setiap bulan pengamatan yang menyebabkan perbedaan sebaran spesies HAB tertentu.

Kata kunci : HAB, Kamal Muara, kerang hijau, spasiotemporal  
xiii + 74 hlm. : 28 gambar, 10 tabel, 4 lampiran  
Bibliografi : 72 (1965—2011)



## ABSTRACT

Name : Mulyani  
Study Program : Biology  
Title : Spatiotemporal Distribution of Harmful Algal Bloom (HAB) Species in Green Mussel (*Perna viridis*) Farming Area, Kamal Muara, North Jakarta

Research on spatiotemporal distribution of HAB species at green mussel (*Perna viridis*) farming area, Kamal Muara, North Jakarta has been conducted in May to October 2011. Samples were taken vertically at nine stations using plankton-net, and environmental parameters were also measured. The classes of HAB species found in this research were Raphidophyceae, Bacillariophyceae, and Dinophyceae, dominated by *Ceratium furca*, *Chaetoceros* spp., *Gonyaulax polygramma*, *Nitzschia* spp., *Prorocentrum micans*, *Skeletonema costatum*, and *Thalassiosira* spp.. Based on isoplank map, the densest distribution was at stations near river mouth, especially in May and October. Based on the Principle Component Analysis (PCA) and Correspondence Analysis (CA) results, there were differences in environmental factor characterized each month, which will cause differences in the distribution of certain HAB species.

Keywords : Green mussels, *HAB*, Kamal Muara, spatiotemporal  
xiii + 74 pp. : 28 pictures, 10 tables, 4 appendices  
Bibliography : 72 (1965-2011)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Fitoplankton .....	4
2.1.1 Kelas Dinophyceae .....	5
2.1.2 Kelas Bacillariophyceae.....	9
2.1.3 Kelas Cyanophyceae .....	10
2.2 <i>Harmful Algal Bloom</i> (HAB).....	11
2.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi Fitoplankton.....	14
2.3.1 Faktor Fisika.....	16
2.3.1.1 Suhu .....	16
2.3.1.2 Cahaya Matahari dan Kecerahan Perairan.....	16
2.3.1.3 Arus air.....	17
2.3.2 Faktor Kimia.....	17
2.3.2.1 Salinitas.....	17
2.3.2.2 Oksigen Terlarut (DO) dan Karbon Anorganik Terlarut ...	18
2.3.2.3 Nutrisi (Nitrogen dan Fosfat).....	18
2.3.2.4 Derajat Keasaman (pH).....	19
2.3.3 Faktor Biologi.....	20
2.4 Lokasi Budidaya Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ) Kamal Muara, Jakarta Utara.....	21
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	24
3.2 Alat.....	24
3.3 Bahan .....	24
3.4 Cara Kerja .....	26
3.4.1 Pengambilan Sampel Plankton dan Pencacahan.....	27
3.4.2 Pengukuran Parameter Lingkungan .....	28
3.5 Analisis Data.....	29
3.5.1 Kepadatan Sampel Fitoplankton .....	29
3.5.2 Analisis Komponen Utama (AKU) atau <i>Principle Component Analysis</i> (PCA).....	29
3.5.3 Analisis Faktorial Korespondensi (AFK) atau <i>Correspondence</i>	

<i>Anaysis (CA)</i> .....	31
3.5.4 Uji Korelasi.....	31
3.5.5 Pola Sebaran Fitoplankton Penyebab HAB .....	32
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Komposisi, Kepadatan, dan Sebaran Spesies <i>Harmful Algal Bloom</i> (HAB) .....	33
4.1.1 Kelompok Fitoplankton HAB Penyebab <i>Red Tide</i> .....	33
4.1.2 Kelompok HAB Penghasil Toksin.....	43
4.1.3 Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB di Lokasi Penelitian.....	46
4.1.3.1 Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB pada bulan Mei .....	46
4.1.3.2 Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB pada bulan Juli .....	47
4.1.3.3 Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB pada bulan Oktober .....	48
4.2 Sebaran Parameter Lingkungan Perairan Berdasarkan Hasil Analisis Komponen Utama (AKU) .....	49
4.3 Sebaran Fitoplankton <i>Harmful Algal Bloom</i> (HAB) dominan secara Spasiotemporal pada Grafik AFK dan Kaitannya dengan Parameter Lingkungan .....	58
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.1(1) Morfologi Dinoflagellata (keterangan diterjemahkan).....	6
Gambar 2.1.1(2) Tipe Sel pada Dinoflagellata (A) Tipe Sel Tidak Berperisai ( <i>anarmored</i> ); (B) Tipe Sel Berperisai ( <i>armored</i> ) .....	7
Gambar 2.1.1(3) Siklus Hidup Dinoflagellata: A. Periode Aseksual (1. Gamet; 10. Pembelahan Ganda; 11. Membentuk Kista); B. Periode Seksual (1. Gamet; 2. Planozigot; 3a. Reduksi; 4. <i>Ensysment</i> Membentuk Kista; 5. Hipnozigot; 6. Proses; 7. <i>Exysment</i> ; 8b. Membentuk Planozigot; 8a. Tahap 3,9,10) .....	8
Gambar 2.1.2 Susunan Skematik Frustula .....	9
Gambar 2.2 Proses Transfer Toksin Melalui Rantai Makanan .....	12
Gambar 3.1 Peta Lokasi Sampling .....	25
Gambar 3.4 Alur Kerja Penelitian.....	26
Gambar 4.1.1(1) Fitoplankton Penyebab <i>Red Tide</i> , yang Ditemukan di Lokasi Penelitian (a) <i>Chattonella</i> spp.; (b) <i>Gonyaulax polygramma</i> ; dan (c) <i>Noctiluca miliaris</i> .....	35
Gambar 4.1.1(2) Fitoplankton HAB Kelas Dinophyceae, yang Berbahaya bagi SDL: (a) <i>Ceratium furca</i> ; (b) <i>Gonyaulax spinifera</i> ; dan (c) <i>Gymnodinium sanguineum</i> .....	41
Gambar 4.1.1(3) Fitoplankton HAB Kelas Bacillariophyceae, yang Berbahaya bagi SDL:(a) <i>Thalassiosira</i> spp.;(b) <i>Chaetoceros</i> spp.; dan (c) <i>Skeletonema costatum</i> .....	42
Gambar 4.1.2(1) Fitoplankton Penghasil Toksin, yang ditemukan di Lokasi Penelitian (a) <i>Prorocentrum micans</i> ; (b) <i>Gymnodinium</i> <i>catenatum</i> ; dan (c) <i>Dinophysis caudata</i> .....	43
Gambar 4.1.2(2) Histogram Kepadatan Fitoplankton Penyebab HAB yang Ditemukan di Lokasi Penelitian.....	45
Gambar 4.1.3.1 Peta Isoplank Kepadatan Fitoplankton HAB pada Bulan Mei 2011.....	46
Gambar 4.1.3.2. Peta Isoplank Kepadatan Fitoplankton HAB pada Bulan Juli 2011 .....	47
Gambar 4.1.3.3 Peta Isoplank Kepadatan Fitoplankton HAB pada Bulan Oktober 2011 .....	48
Gambar 4.2(1) Grafik Analisis Komponen Utama Karakteristik Parameter Lingkungan pada Sumbu 1-2 (F1 X F2). (A) Korelasi antar Parameter Lingkungan Perairan (B) Sebaran Waktu dan Stasiun Penelitian Berdasarkan Parameter Lingkungan Perairan.....	50
Gambar 4.2(2) Grafik Analisis Komponen Utama Karakteristik Parameter Lingkungan pada Sumbu 1-3 (F1 X F3). (A) Korelasi antar Parameter Lingkungan Perairan (B) Sebaran Waktu dan Stasiun Penelitian Berdasarkan Parameter Lingkungan Perairan.....	51
Gambar 4.2(3) DO (ppm) Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober.....	54
Gambar 4.2(4) Salinitas (‰) Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober.....	54
Gambar 4.2(5) pH Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober.....	54

Gambar 4.2(6)	Kecerahan (m) Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober... 54
Gambar 4.2(7)	Kedalaman (m) Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober...55
Gambar 4.2(8)	Kadar NO <sub>3</sub> (ppm) Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober .....55
Gambar 4.2(9)	Kadar Fosfat (ppm) di Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober ..... 57
Gambar 4.2(10)	Suhu (°C) Perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober..... 57
Gambar 4.2(11)	Kecepatan Arus (m/det) Perairan Kamal Muara pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober .....57
Gambar 4.3(1)	Grafik AFK Sebaran Spasiotemporal Fitoplankton Dominan Penyebab HAB di Lokasi Penelitian pada sumbu 1-2.....60
Gambar 4.3(2)	Grafik AFK Sebaran Spasiotemporal Fitoplankton Dominan Penyebab HAB di Lokasi Penelitian pada sumbu 1-3.....61

### DAFTAR TABEL

Tabel 2.2	Dampak HAB terhadap Kesehatan Manusia dan Penyebab.....15
Tabel 3.4	Koordinat Stasiun Penelitian .....27
Tabel 3.4.2	Pengukuran Parameter Lingkungan dan Alat Ukur .....28
Tabel 4.1(1)	Fitoplankton Penyebab HAB yang Ditemukan di Lokasi Penelitian ..... 34
Tabel 4.1.1(1)	Komposisi Fitoplankton Penyebab HAB di Lokasi Penelitian pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober 2011 .....36
Tabel 4.1.1(2)	Kepadatan Fitoplankton Penyebab HAB di lokasi penelitian pada bulan Mei 2011 .....37
Tabel 4.1.1(3)	Kepadatan Fitoplankton Penyebab HAB di lokasi penelitian pada bulan Juli 2011 .....38
Tabel 4.1.1(4)	Kepadatan Fitoplankton Penyebab HAB di lokasi penelitian pada bulan Oktober 2011 .....39
Tabel 4.2(1)	Korelasi antar Parameter Lingkungan yang Diamati .....52
Tabel 4.2(2)	Data Parameter Lingkungan di Lokasi Penelitian, Kamal Muara, Jakarta Utara pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober.....53

### DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Varians Analisis Komponen Utama Data Parameter Lingkungan, Uji Korelasi, dan Persentase Nilai Euginvalue pada Sumbu AKU..71
Lampiran 2.	Analisis Faktorial Korespondensi Data Sebaran Fitoplankton Penyebab HAB dengan Stasiun dan Waktu Pengamatan .....72
Lampiran 3.	Analisis Komponen Utama Data Parameter Lingkungan dan Persentase Nilai Euginvalue pada Sumbu AKU-AFK .....73
Lampiran 4.	Data Spesies Plankton yang Ditemukan di Lokasi Penelitian.....74

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Fitoplankton, selain sebagai produsen primer juga dapat menimbulkan *Harmful Algal Bloom* (HAB) (Hallegraeff 1991: 13). *Harmful Algal Bloom* (HAB) merupakan fenomena yang umum terjadi di perairan laut dan payau. Definisi HAB adalah penambahan populasi fitoplankton, yang dapat menimbulkan kerugian baik pada manusia, biota laut, maupun ekosistem di sekitarnya (Wiadnyana 1996: 15; Praseno 1996: 120; Hallegraeff 1991: 15).

Berdasarkan penyebabnya, peristiwa HAB dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu *red tide maker* dan *toxin producer*. Peristiwa HAB oleh *red tide maker* disebabkan oleh ledakan populasi fitoplankton berpigmen, sehingga warna air laut akan berubah sesuai dengan warna pigmen pada spesies fitoplankton tertentu (Praseno 2000: 6). Warna air laut dapat berubah dari biru menjadi merah, merah kecoklatan, hijau, ungu, dan kuning. Ledakan populasi fitoplankton tersebut dapat menutupi permukaan perairan, sehingga selain menyebabkan deplesi oksigen, juga dapat menyebabkan gangguan fungsi mekanik maupun kimiawi pada insang ikan. Hal tersebut dapat mengakibatkan kematian massal pada ikan (Adnan 1994: 167; Hallegraeff 1991: 16). Sebagai contoh, kasus HAB yang menyebabkan kematian organisme pernah terjadi di Teluk Jakarta, yaitu kasus kematian massal udang tahun 1994 (Praseno 1995: 112), kematian massal ikan tahun 1993 karena kejadian *red tide* oleh spesies *Noctiluca miliaris* (Praseno 1995: 122), dan kematian massal ikan di wilayah Pulau Pari tahun 1997 karena kejadian *red tide* oleh *Trichodesmium* sp. (Praseno dkk. 1999: 434).

Peristiwa HAB oleh *toxin producer* disebabkan metabolit sekunder, yang bersifat toksik dari fitoplankton penyebab HAB tersebut. Toksin tersebut dapat terakumulasi pada biota budidaya seperti ikan dan kerang. Toksin tersebut dapat menyebabkan peristiwa keracunan, yaitu *Diarrhetic Shellfish Poisoning* (DSP), *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP), *Neurotoxic Shellfish Poisoning* (NSP), *Amnesic Shellfish poisoning* (ASP), dan *Ciguatera Fish Poisoning* (CFP). Baik *red tide maker* maupun *toxin producer*, keduanya memberikan dampak negatif, yang harus dicegah untuk memroteksi kesehatan masyarakat (GEOHAB 2001: 3). Oleh karena itu, dampak HAB harus diwaspadai untuk memroteksi kesehatan

konsumen dan ekosistem, estetika lingkungan perairan, dan budidaya perikanan (Fachrul & Syach 2006: 1; Praseno 1995: 119).

Teluk Jakarta merupakan wilayah yang berfungsi sebagai lahan budidaya perikanan. Salah satu kegiatan budidaya di Teluk Jakarta yaitu budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) yang berlokasi di Kamal Muara, Jakarta Utara. Teluk Jakarta dipengaruhi oleh perairan pesisir utara Jakarta, yang merupakan daerah teluk semi tertutup pada ekosistem estuari. Perairan pesisir utara Jakarta merupakan daerah yang memiliki banyak masukan *terrigenous* dan nutrisi yang berasal dari 13 muara sungai, dan berada di dekat kawasan industri. Kondisi nutrisi melimpah dari limbah industri menjadikan perairan pesisir utara Jakarta paling produktif secara biologis di Indonesia (Praseno & Kastoro 1979:1).

Lokasi budidaya umumnya juga erat kaitannya dengan fenomena HAB. Hal tersebut dapat terjadi karena pengayaan unsur hara perairan akibat nutrisi berlebih dari daratan, sungai, dan limbah industri terdekat. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi, yang memicu pertumbuhan fitoplankton tertentu penyebab HAB (Hallegraeff 1991: 14). Oleh sebab itu, potensi timbulnya dampak HAB di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara perlu dicegah agar tidak membahayakan kesehatan masyarakat dan sumberdaya perikanan (Fachrul & Syach 2006: 1).

Berdasarkan hasil pra-penelitian penulis, telah ditemukan spesies fitoplankton yang berpotensi menyebabkan HAB pada bulan Juli 2010 di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara, yaitu *Ceratium furca*, *Dinophysis* spp., *D. caudata*, *D. miles*, *D. mitra*, *D. novergica*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Gonyaulax spinifera*, *Gymnodinium sanguineum*, *Nitzschia* spp., *Nitzschia lorenziana*, *Prorocentrum micans*, *P. gracile*, *P. maculosum*, *Skeletonema costatum*, dan *Trichodesmium* spp. Keberadaan spesies-spesies tersebut perlu diwaspadai mengingat lokasi tersebut merupakan lokasi budidaya dan pemasok utama kerang hijau (*Perna viridis*) di Jakarta. Produksi kerang hijau (*Perna viridis*) mencapai produksi 72.000 ton per tahun (periode 2000-2004) (DPPK 2006:74) dan omset mencapai 200—500 ribu rupiah per pembudidaya per hari. Selain itu, budidaya tersebut merupakan sumber mata pencaharian utama bagi penduduk Kamal Muara di sekitarnya (DPPK 2006: 73 & Fachrul & Syach 2006: 2).

Keberadaan spesies fitoplankton penyebab HAB di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) di Kamal Muara, perlu mendapat perhatian secara khusus dari pemerintah, pihak industri, institusi penelitian, dan masyarakat. Hingga saat ini, belum ada tindakan yang dilakukan, sehingga diperlukan pemantauan untuk mencegah dampak negatif HAB. Pencegahan dampak HAB dapat dilakukan melalui pemantauan secara rutin untuk memrediksi waktu terjadinya pertambahan populasi fitoplankton penyebab HAB dan area budidaya yang akan mengalami dampak HAB tersebut. Hal tersebut dapat dilakukan dengan melihat pola sebaran spasiotemporal spesies HAB di lokasi tersebut. Penulis menduga bahwa terdapat perbedaan pola sebaran spasiotemporal spesies HAB di lokasi tersebut yang dipengaruhi oleh parameter lingkungan tertentu. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai sebaran spasiotemporal fitoplankton penyebab HAB dan kaitannya dengan parameter lingkungan di lokasi tersebut.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui sebaran spasiotemporal spesies fitoplankton penyebab HAB di lokasi budidaya kerang hijau Kamal Muara, Jakarta Utara, dengan melihat kaitannya terhadap faktor-faktor lingkungan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pola sebaran spesies fitoplankton penyebab HAB di lokasi tersebut. Bentuk informasi yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai data awal untuk suatu sistem peringatan dini, sehingga dapat mencegah timbulnya dampak negatif HAB, memroteksi kesehatan masyarakat dan ekosistem, dan menjaga keberlanjutan usaha budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) di lokasi tersebut.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. FITOPLANKTON

Plankton merupakan kumpulan organisme akuatik, yang hidup melayang atau terapung di dalam air, tidak dapat bergerak atau bergerak sedikit tergantung pergerakan air, dan tidak dapat melawan arus (Suthers & Rissik 2009:2; Nontji 1993: 126; Nybakken 1992: 96). Akan tetapi, ada plankton yang dapat berenang aktif secara vertikal, contohnya pada kelompok zooplankton (Wickstead 1965: 15). Plankton dapat mengapung atau melayang di dalam air karena dapat mengatur berat jenis badan, agar sama dengan berat jenis media hidupnya (Hays *dkk.* 2005: 337).

Berdasarkan ukurannya, plankton dapat dibedakan menjadi enam kelompok, yaitu megaplankton (>20 mm), makroplankton (2--20 mm), mesoplankton (0,2—2 mm), mikroplankton (20--200  $\mu\text{m}$ ), nanoplankton (2--20  $\mu\text{m}$ ), dan pikoplankton (0,2--2  $\mu\text{m}$ ) (Suthers & Rissik 2009: 16; Tait 1981: 21). Ukuran sel plankton sangat berpengaruh terhadap kemampuan plankton untuk mempertahankan posisinya di kedalaman dengan cahaya dan nutrisi, yang cukup untuk pertumbuhan optimal organisme tersebut (Nybakken 2001: 37).

Menurut cara makannya, plankton dibedakan menjadi saproplankton (bakterioplankton), zooplankton, dan fitoplankton (Parsons *dkk.* 1977: 2). Saproplankton merupakan kelompok plankton yang tidak berklorofil dan bersifat saprofit, misalnya *Micrococcus*, *Sarcina*, *Vibrio*, *Bacillus*, dan lain-lain. Zooplankton terdiri dari hewan planktonik, yang memiliki cara makan holozoik, seperti larva ikan, udang, dan lain-lain (Parsons *dkk.* 1977: 2-3). Zooplankton menduduki tingkatan trofik kedua atau ketiga. Fitoplankton terdiri dari mikroalga yang memiliki sifat-sifat tumbuhan, karena adanya pigmen fotosintetik dan struktur plastida (Suthers & Rissik 2009: 142). Berdasarkan kombinasi pigmen fotosintetik, para ahli tumbuhan mengklasifikasikan fitoplankton menjadi divisi berikut: Cyanophyta, Dinophyta, Chrysophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Prymnesiophyta, dan Bacillariophyta. Kelompok fitoplankton sangat beragam secara morfologi (Suthers & Rissik 2009: 141-142).

Fitoplankton merupakan produsen primer, yang mampu menghasilkan sebagian besar senyawa organik dari senyawa anorganik melalui fotosintesis (Sachlan 1982: 2; Tait & Dipper 1998: 25). Hal tersebut menjadikan fitoplankton dapat menyediakan energi dan materi organik dalam rantai makanan, yang dibutuhkan oleh organisme lain di perairan. Oleh karena itu, fitoplankton menduduki tingkat trofik pertama dalam suatu rantai makanan (Reynolds 2006:2).

Selain sebagai produsen primer, fitoplankton dapat menjadi bioindikator dalam suatu perairan karena jumlahnya yang melimpah, mudah diamati, dan mewakili lingkungan perairan (Nontji 1993: 127). Keberadaan fitoplankton di suatu perairan sebagai bioindikator, berkaitan dengan peranannya sebagai produsen primer dalam rantai makanan, kemampuannya beradaptasi dengan lingkungan, dan tingkat sensitifitasnya yang tinggi terhadap kondisi lingkungan (Mukai 1987: 269). Misalnya, kelimpahan dari *Skeletonema costatum* (Arinardi dkk. 2007: 12--14) dan *Trichodesmium erythraeum* (Horner & Rensel 1990: 174; Wiadnyana 1996: 16) menunjukkan adanya kelimpahan zat organik berlebih pada suatu perairan. Fenomena kelimpahan zat organik tersebut dikenal dengan eutrofikasi (Hallegraeff 1991: 15; Wiadnyana 1996: 25).

Fitoplankton terpenting dalam komunitas plankton berasal dari kelas Bacillariophyceae, Dinophyceae, dan Cyanophyceae (Arinardi dkk. 1997: 4—5). Bacillariophyceae dan Dinophyceae merupakan produsen primer yang paling penting dan mendominasi perairan laut. Selain sebagai produsen primer, beberapa spesies dari kelas-kelas tersebut juga dapat menyebabkan *Harmful Algal Bloom* (HAB) (GEOHAB 2001: 8). *Harmful Algal Bloom* (HAB) merupakan fenomena ledakan populasi fitoplankton tertentu yang dapat merugikan, baik bagi kesehatan masyarakat maupun ekosistem.

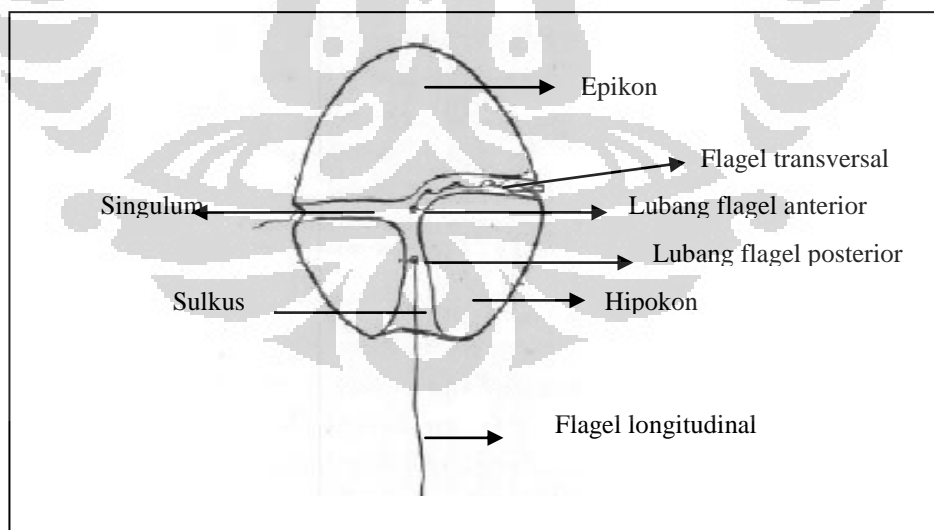
### **2.1.1. Kelas Dinophyceae**

Kelas Dinophyceae termasuk ke dalam divisi Dinophyta, yang dikenal dengan Dinoflagellata (Reynolds 2006: 10). Dinoflagellata memiliki sifat tumbuhan dan hewan. Sifat Dinoflagellata seperti tumbuhan karena dapat melakukan fotosintesis, sehingga dikelompokkan ke dalam Divisi Dinophyta oleh para ahli tumbuhan. Beberapa ahli zoologi mengelompokkannya ke dalam Kelas

Mastigophora dari Filum Protozoa karena memiliki alat pergerakan berupa flagel dan dapat memangsa biota lain (holozoik) (Arinardi *dkk.* 1997: 21—22; Sumadhiharga 1977: 12).

Identifikasi spesies pada kelas Dinophyceae dapat dilakukan berdasarkan morfologi umumnya atau disebut morfospesies. Morfologi umum yang digunakan dalam identifikasi Dinoflagellata yaitu ukuran dan bentuk sel, serta ornamentasi permukaan (lubang, duri, dan celah). Proses lebih lanjut dalam identifikasi dapat dilakukan dengan analisis lempeng (Taylor *dkk.* 1995: 284) dan diagnosis *Nucleic Acid Probe* pada rantai DNA oligonukleotid, polinukleotid, dan ribonukleotid (Scholin 1996: 337).

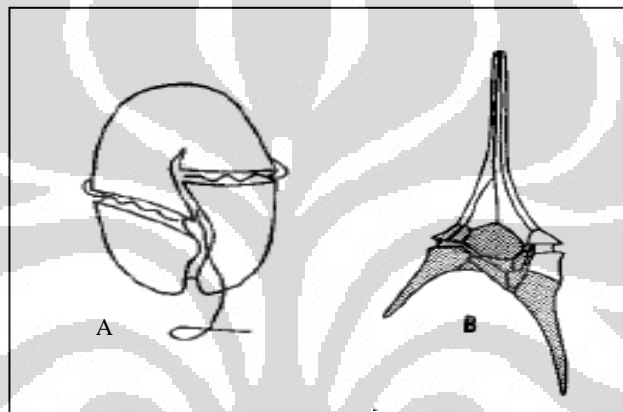
Ukuran sel dinoflagellata berkisar antara 30—89  $\mu\text{m}$ , bahkan ada yang berukuran 2 mm. Organisme tersebut memiliki dua flagel (cambuk) yang terletak pada sumbu tubuh. Posisi flagel yang melingkar pada jalur transversal (singulum) disebut flagel transversal, dan yang mengarah ke belakang secara longitudinal (sulkus) disebut flagel longitudinal. Gerakan kedua flagel menghasilkan pergerakan seperti denyutan (transversal) dan tarik-menarik (longitudinal) (gambar 2.1.1(1)). Kedua gerakan tersebut memungkinkan dinoflagellata melakukan gerak rotasi (Farmer 1980: 194; Dawes 1981: 274—275).



Gambar 2.1.1(1). Morfologi Dinoflagellata (keterangan diterjemahkan)  
[Sumber : Tomas 1997: 391]

Struktur singulum membagi tubuh dinoflagellata menjadi dua bagian, yaitu anterior dan posterior (Praseno & Thoha 1992: 31). Membran sel Dinophyceae ada yang keras karena tersusun dari selulosa, disebut tipe berperisai (*thecate* atau

*armored*) dan ada yang tidak berperisai (*non-thecate* atau *anarmored*) (gambar 2.1.1(2)) (Farmer 1980: 194; Raymont 1980: 180). Berdasarkan letak singulum, sulkus, dan cambuk, kelas Dinophyceae dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu Adinina dan Diniferina. Kelompok Adinina tidak memiliki singulum dan sulkus, tetapi memiliki dua cambuk di bagian anterior. Kelompok Diniferina memiliki singulum dan sulkus dengan sebuah cambuk pada masing-masing alur (Farmer 1980: 197). Kelas Dinophyceae mempunyai bentuk berbeda, namun digolongkan secara sederhana menjadi lima kelompok, yaitu Prorocentroid, Dinophysoid, Gonyaulacoid, Peridinoid, dan Gymnodinoid/Noctiluroid (Taylor *dkk.* 1995: 284—315).

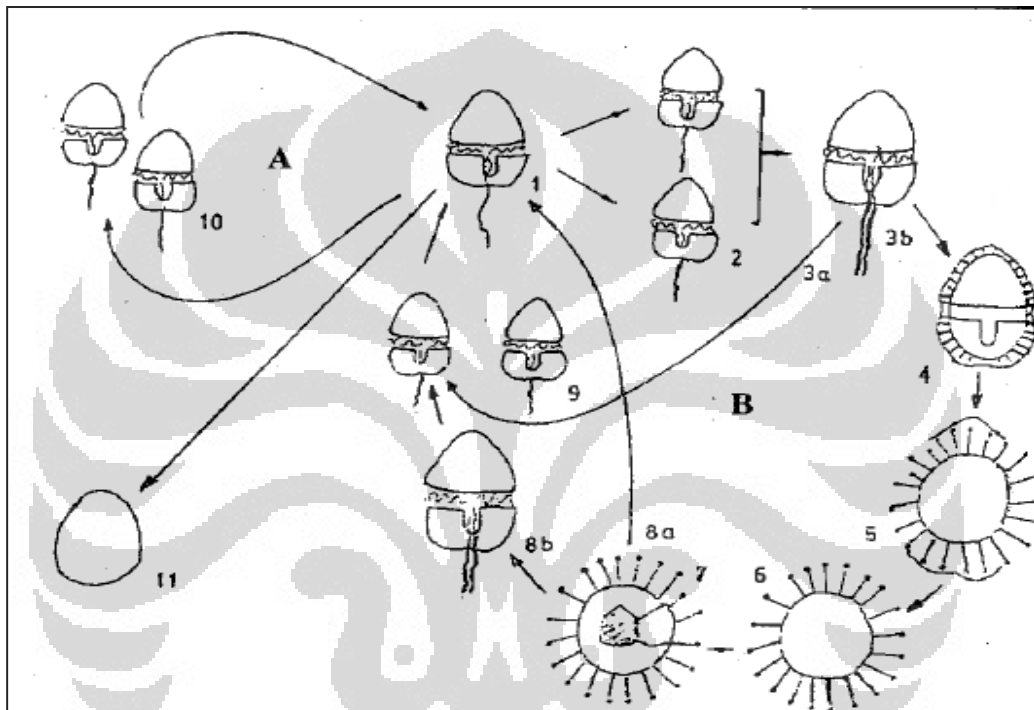


Gambar 2.1.1(2). Tipe sel pada kelas Dinophyceae, (A) Tipe sel tidak berperisai (*anarmored*); (B) Tipe sel berperisai (*armored*) [Sumber: Tomas 1997: 415—417.]

Siklus hidup (gambar 2.1.1(3)) Dinoflagellata sangat cepat, yaitu berkisar 1—15 hari dengan kelipatan dan kelimpahan ganda. Apabila keadaan lingkungan mengganggu fisiologis sel, dinoflagellata dapat melakukan dormansi. Pola dormansi berupa kista atau *resting cell*, yaitu sel vegetatif yang memipih dan bulat (Graham & Wilcox 2000: 255--256). Kista tersebut tidak akan tumbuh menjadi sel dinoflagellata yang fungsional karena dihambat oleh ketiadaan cahaya dan rendahnya kadar oksigen terlarut. Kista dapat ditemukan dalam sedimen perairan dangkal yang dapat berubah menjadi *blooming* sel vegetatif apabila cahaya dan kadar oksigen kembali normal (Graham & Wilcox 2000: 217—218).

Kelas Dinophyceae dikenal sebagai penyebab *red tide*, yaitu kondisi reproduksi organisme yang sangat cepat sehingga menimbulkan perubahan warna perairan, yang dapat menyebabkan akumulasi biomassa. Akumulasi biomassa dapat menutupi suatu perairan dan menghalangi oksigen bebas dari udara yang

berdifusi ke dalam perairan, sehingga terjadi anoksia dan hipoksia (MacKinnon & Hawes 1961: 88; Sumadhiharga 1977: 10). Penurunan oksigen terlarut (anoksia) di perairan dapat disebabkan peristiwa *blooming* jenis tertentu (Hallegraeff 1991: 15; Suthers & Rissik 2009: 40) dalam kondisi dan waktu yang tidak ditentukan (Praseno 1995: 1). Sebagian besar spesies dari kelas Dinophyceae dapat menempel pada insang dan menyebabkan kegagalan fungsi mekanik. Hal tersebut juga berdampak pada kematian massal ikan dan krustasea (Hallegraeff 1991: 16).



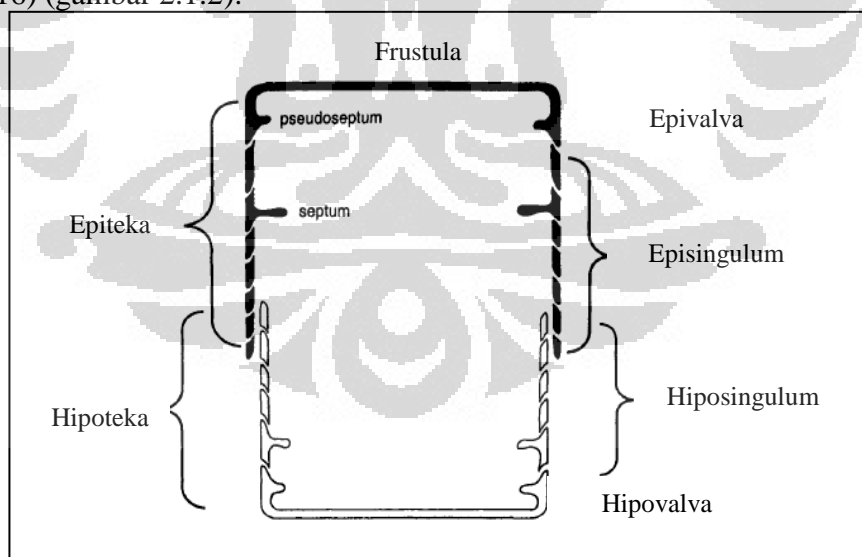
Gambar 2.1.1(3). Siklus hidup dinoflagellata: **A.** Periode aseksual (1. Gamet; 10. Pembelahan ganda; 11. Membentuk kista); **B.** Periode seksual (1. Gamet; 2. Planozigot; 3a. Reduksi; 4. *Ensysment* membentuk kista; 5. Hipnozigot; 6. Proses; 7. *Exysment*; 8b. Membentuk planozigot; 8a. tahap 3,9,10)  
[Sumber : Tomas 1997: 418.]

Beberapa spesies dari kelas Dinophyceae yang dapat menyebabkan HAB umumnya berasal dari marga *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Gambierdiscus*, *Gonyaulax*, *Noctiluca*, *Prorocentrum*, dan *Pyrodinium*. Salah satu contoh spesies penyebab HAB, yaitu *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* yang ditemukan di Teluk Lampung dalam bentuk sel vegetatif dan kista oleh Widiarti *dkk.* (2003:46). Spesies tersebut dikenal dapat menyebabkan paralisis saraf otot dan kegagalan pernapasan pada manusia akibat toksin PSP yang dihasilkan, yaitu *saxitoxin*. *Saxitoxin* dapat terakumulasi pada kerang dan akan melewati proses rantai makanan. Salah satu contoh spesies dinoflagellata penyebab HAB, yaitu

*Gambierdiscus toxicus* dapat menghasilkan racun yang terakumulasi pada ikan-ikan karang sehingga menimbulkan *Ciguatera Fish Poisoning* (CFP).

### 2.1.2. Kelas Bacillariophyceae

Bacillariophyceae lebih dikenal sebagai kelompok diatom. Diatom juga disebut *golden brown algae* karena memiliki pigmen kuning (*fucoxanthin*), yang lebih dominan dibandingkan pigmen hijau (klorofil). Adanya pigmen tersebut menyebabkan suatu perairan tampak berwarna coklat muda akibat padatnya diatom (Sachlan 1982: 70). Sel diatom berukuran antara 10—1000  $\mu\text{m}$ . Dinding sel diatom (*frustula*) memiliki pori-pori yang dapat membentuk garis atau pola. Dinding sel merupakan bidang pengendapan silika, yang dapat membentuk struktur seperti tulang yang dikenal sebagai kosta. Dinding sel diatom terdiri dari dua bagian (*katup*), yang menyerupai tutup disebut *epiteka* dan menyerupai wadah disebut *hipoteka*. Kedua katup tersebut bertemu di bagian tengah *frustula* yang disebut bagian sabuk (*girdle*). *Epiteka* terdiri dari dua bagian yaitu *epivalva* dan *episingulum*, sedangkan *hipoteka* terdiri dari *hipovalva* dan *hiposingulum* (Tomas 1997: 16) (gambar 2.1.2).



Gambar 2.1.2. Susunan skematik frustula [Sumber: Tomas 1997: 16.]

Diatom merupakan fitoplankton dominan di perairan laut, terutama di laut terbuka. Selain hidup sebagai plankton, diatom juga dapat hidup sebagai bentos atau menempel pada benda-benda lain sebagai perifiton. Diatom tidak memiliki flagel dan alat gerak, sehingga diatom bergantung pada arus kolom air untuk

menjaga sel agar tetap mengapung. Beberapa jenis diatom planktonik berbentuk pipih, duri, filamen, atau berkoloni untuk meningkatkan volume dan luas permukaan sehingga dapat meningkatkan daya apung (Hoek *dkk.* 1995: 135; Arinardi *dkk.* 1997: 20; Suthers & Rissik 2009: 145--146).

Ledakan populasi diatom sering terjadi di perairan pantai saat terjadi *upwelling*, yang membawa sedimen kaya nutrisi ke permukaan air. Faktor pembatas di perairan pantai seperti faktor ketersediaan nutrisi (silikat, nitrat, dan fosfat), stabilitas air, cahaya, iklim, dan pemangsa, dapat memengaruhi jenis diatom dalam kolom air pada waktu tertentu. Ledakan populasi diatom yang terlalu padat dapat menyebabkan kematian ikan dan invertebrata karena deplesi oksigen pada perairan atau kerusakan mekanik pada insang (seperti *Thalassiosira mala* dan *Chaetoceros spp.*). Jenis *Pseudo-nitzschia* dapat menjadi penyebab *Amnesic Shellfish Poisoning* (ASP), akibat racun asam domoik, yang umumnya dihasilkan oleh spesies tersebut. *Frustula* diatom memiliki tingkat pembusukan yang lambat sehingga dapat menjadi deposit geologi yang dikenal sebagai tanah *diatomaceous*. Tanah tersebut dapat digunakan dalam filtrasi, kosmetik, pasta gigi, dan ilmu forensik (Suthers & Rissik 2009: 145).

### 2.1.3. Kelas Cyanophyceae

Menurut Praseno *dkk.* (1999: 16), kelas Cyanophyceae atau diatom merupakan alga biru-hijau terdapat pada perairan tawar dan laut. Diatom dikelompokkan ke dalam tumbuhan, yang dikelompokkan ke dalam Divisi Cyanophyta, karena memiliki pigmen fotosintetik klorofil a dan b, fikosianin, dan karoten, sehingga dapat berfotosintesis dan memiliki kesamaan struktur kloroplas dengan jenis eukariotik lain. Para ahli mikrobiologi mengelompokkan Cyanophyceae sebagai bakteri, yang disebut Filum Cyanobacteria karena memiliki nukleid dan struktur sel menyerupai sel organisme prokariot. Diatom dapat mengikat nitrogen dari atmosfer, sehingga berperan dalam meningkatkan kesuburan perairan.

Beberapa jenis dari kelas Cyanophyceae mampu menghasilkan berbagai toksin, seperti *microcystin*, nodularian, dan toksin *Paralytic Shellfish Poisoning*. Contoh spesies dari kelas Cyanophyceae yang dapat menyebabkan HAB adalah *Microcystis aeruginosa* yang menghasilkan toksin *microcystin*. Toksin tersebut

dapat merusak hati dan merangsang pertumbuhan tumor. Jenis yang sering dijumpai di laut, yaitu *Trichodesmium erythraeum*. Spesies tersebut dapat menghasilkan anatoksin (toksin saraf), yang dapat menyebabkan kesukaran bernapas bagi manusia dan menyebarkan bau menyengat (Praseno 2000: 18).

Selain ketiga kelas di atas, terdapat Kelas Raphidophyceae yang sering ditemukan di perairan laut. Raphidophyceae memiliki kloroplas dan memiliki vesikel yang dapat memproduksi mukus. Sel memiliki flagel yang halus dan terbentang menutupi permukaan sel, sehingga sel dapat bergerak memutar saat berenang. Contoh spesies dari kelas Raphidophyceae yang dapat menyebabkan HAB, yaitu *Chattonela antiqua* dan *Heterosigma akashiwo* yang sering ditemukan di perairan Jepang (Hallegraeff 1991: 87).

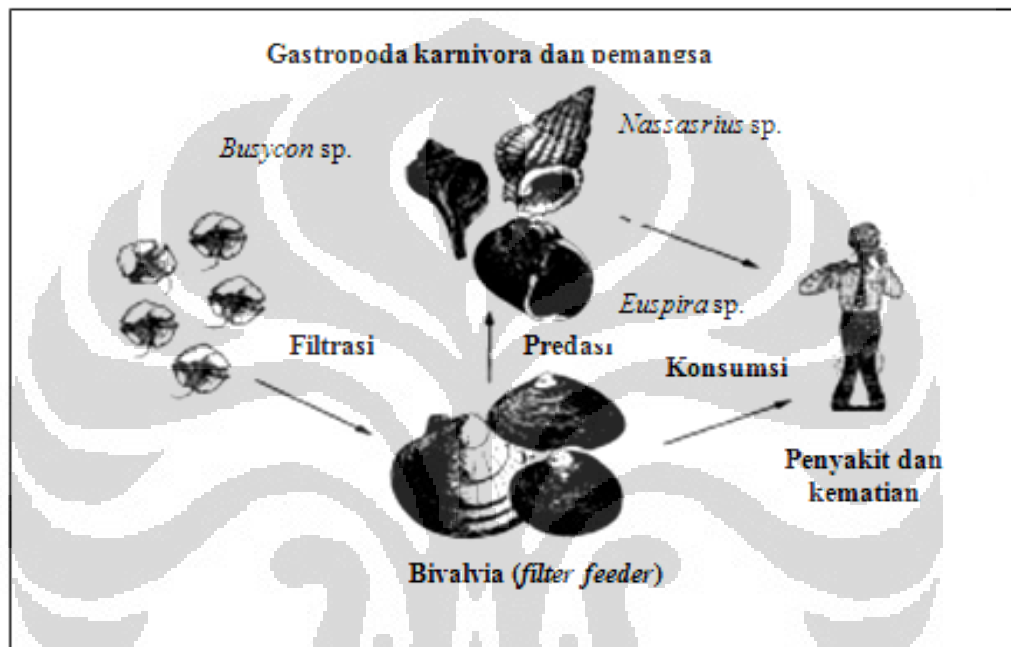
## 2.2. **HARMFUL ALGAL BLOOM (HAB)**

*Harmful Algal Bloom* (HAB) merupakan fenomena yang umum terjadi di perairan laut. Definisi HAB yaitu pertambahan populasi kelompok fitoplankton berbahaya, yang berdampak negatif terhadap kesehatan manusia, biota laut, dan ekosistem di sekitarnya (GEOHAB 2001: 3; Wiadnyana 1996: 15; Praseno 1996: 120). Kasus HAB di perairan Teluk Jakarta pernah terjadi pada tahun 1993 dengan adanya kematian massal pada ikan. Dampak HAB tersebut dapat terjadi akibat melimpahnya fitoplankton penyebab HAB karena konsentrasi amonia yang tinggi (4 ppm) (Praseno 1996: 121).

Peristiwa HAB dapat dikategorikan menjadi *red tide* dan *toxin producer*. Peristiwa HAB yang dikategorikan *red tide* disebabkan oleh ledakan populasi (*blooming*) fitoplankton berpigmen, sehingga warna air laut akan berubah sesuai dengan warna pigmen dari spesies fitoplankton tertentu. *Red tide* dapat menghalangi masuknya cahaya matahari ke dalam perairan, karena ledakan populasi fitoplankton dapat menutupi permukaan perairan (Sumadhiharga 1977: 10; Praseno 2000: 6). Hal tersebut juga dapat menyebabkan kondisi deplesi oksigen, yaitu anoksia dan hipoksia, sehingga mengganggu sistem pernapasan biota laut. Sebagian besar spesies dari kelompok fitoplankton tersebut juga dapat menempel pada insang biota budidaya. Hal tersebut dapat menyebabkan



kegagalan fungsi mekanik (Hallegraeff 1991: 15), yang dapat menyebabkan kematian massal pada ikan. Peristiwa HAB juga disebabkan oleh fitoplankton yang dapat menghasilkan toksin (Praseno 2000: 6). Toksin yang dihasilkan tersebut merupakan molekul stabil, yang tidak dapat terurai dengan metode pemasakan dan pengolahan makanan (Anderson *dkk.* 2001: 26). Proses akumulasi toksin (gambar 2.2.) berlangsung dalam rantai makanan, di mana konsumen terakhir merupakan tempat penumpukan toksin terbesar.



Gambar 2.2. Proses transfer toksin melalui rantai makanan  
[Sumber: Sediadi 1999: 24.]

Toksin dari fitoplankton penyebab HAB dapat terakumulasi pada jenis biota budidaya, seperti halnya kerang dan ikan. Apabila biota tersebut dikonsumsi secara terus menerus oleh manusia, maka akumulasi toksin akan berdampak kepada kesehatan manusia. Toksin tersebut dapat menyebabkan penyakit pada manusia, yaitu *Diarrhetic Shellfish Poisoning* (DSP), *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP), *Neurotoxic Shellfish Poisoning* (NSP), *Amnesic Shellfish poisoning* (ASP), dan *Ciguatera Fish Poisoning* (CFP).

*Amnesic Shellfish Poisoning* (ASP) yang disebabkan oleh racun asam domoik, yang umumnya dihasilkan oleh *Pseudo-nitzschia* dari kelompok diatom. Racun tersebut dapat menyebabkan distress gastrointestinal setelah pemaparan selama 24 jam. Gejala keracunan ASP, antara lain: sakit kepala, lesu, dan hilang

ingatan jangka pendek. Konsentrasi toksin yang terlalu tinggi akan menyebabkan kematian (Praseno 1995: 122).

*Neurotoxic Shellfish Poisoning* (NSP), terjadi akibat pemaparan brevetoksin, yang dihasilkan dinoflagellata dan terakumulasi di dalam kerang. Toksin dapat terakumulasi dalam jaringan organ pencernaan. Tiga spesies HAB yang memproduksi brevetoksin, yaitu *Gymnodinium breve* (GEOHAB 2001: 3), *Chattonella vernuculosa* dan *Scrippsiella trochoidea*. Gejala NSP dimulai setelah 1—3 jam pemaparan dengan ciri-ciri pembengkakan (mulut, lengan, dan kaki), ketidakseimbangan tubuh, dan gangguan pencernaan. Gejala jarang letal dan akan hilang dalam 3 hari.

*Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP) merupakan dampak HAB yang paling signifikan. Gejala disebabkan oleh *saxitoxin* dan terdapat pada genus dinoflagellata *Alexandrium*, *Gymnodinium*, dan *Pyrodinium*. *Saxitoxin* dapat terakumulasi pada kerang dan akan melewati proses rantai makanan. Gejala tampak setelah pemaparan 15 menit hingga 10 jam dengan gejala anggota tubuh (wajah, lengan, dan kaki) kaku, sakit kepala, gangguan otot, dan lesu. Efek PSP dapat menyebabkan paralisis pada otot dan pernapasan hingga mencapai kematian pada 2 hingga 25 jam. Salah satu contoh spesies penyebab PSP yaitu *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, yang telah ditemukan di Teluk Lampung dalam bentuk sel vegetatif dan kista oleh Widiarti (2003: 24). Kasus PSP sering terjadi di wilayah perairan Indonesia, contohnya ledakan *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* di daerah Teluk Lampung dan Pulau Sebatik (Kalimantan) (Praseno 1995: 122).

*Ciguatera Fish Poisoning* (CFP) berasal dari akumulasi toksin pada ikan. Ciguatoksin yang dihasilkan disebabkan oleh dinoflagellata bentik, misalnya *Gambierdiscus toxicus*. Gejala yang ditimbulkan setelah pemaparan 12--24 jam, dengan gejala diare, mulas, mual, muntah, terasa kesemutan dan tebal (tangan dan kaki), tidak peka terhadap rasa (dingin menjadi panas dan sebaliknya), hilang keseimbangan, detak jantung dan tekanan darah melemah, dan pernapasan terganggu. Gejala akan berlangsung selama 1 hingga 2 minggu, bahkan dapat menyebabkan kematian. Menurut Praseno (1995: 192), kasus CFP oleh *Gambierdiscus toxicus* pernah terjadi di Teluk Lewotobi Flores (GEOHAB 2001: 23—29).

*Diarrhetic Shellfish Poisoning* (DSP) merupakan dampak keracunan asam okadoik atau *dinophysistoxin* (Wright & Cambella 1998: 436), yang umumnya disebabkan oleh kelompok *Dinophysis*. Gejala keracunan tampak setelah 0,5 – 12 jam terpapar racun, yaitu diare, mual, perut mulas, muntah, dan keracunan berat yang dapat mengakibatkan tumor. Racun yang dihasilkan berupa senyawa metabolit bersifat karsinogenik. Menurut Praseno (1979: 139), di Teluk Jakarta sering terjadi ledakan populasi *Dinophysis caudata* sejak 1978. Widiarti *dkk.* (2011: 3) menyatakan bahwa pada bulan Juli 2010 kelompok spesies fitoplankton penyebab HAB yang ditemukan di Kamal Muara didominasi oleh marga *Dinophysis*.

Dampak HAB juga dapat terjadi pada ekosistem, akibat kondisi anoksia dan hipoksia, sehingga mengganggu suplai oksigen bagi biota perairan, terutama proses pernapasan. Ledakan spesies tertentu seperti *Chaetoceros* spp. dan *Trichodesmium* spp. dapat mengakibatkan kegagalan fungsi mekanik karena dapat menempel pada insang sehingga mengganggu pernapasan ikan dan beberapa moluska. Hal tersebut dapat menyebabkan kematian massal pada ikan (Scholin *dkk.* 1996: 162) dan gangguan pada ketersediaan sumberdaya perikanan (Hallegraeff 1991: 16). Tabel 2.2. menjelaskan dampak HAB dan spesies penyebabnya bagi ekosistem, biota budidaya, dan kesehatan manusia.

### 2.3. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMENGARUHI FITOPLANKTON

Parameter lingkungan dapat menjadi faktor yang berpengaruh terhadap kehidupan organisme akuatik, khususnya fitoplankton. Parameter lingkungan yang sangat mendukung kehidupan fitoplankton berupa faktor fisika, kimia, dan biologi, yang saling terkait satu sama lain (Tindall & Morton 1992: 300). Faktor lingkungan, yang secara khusus memengaruhi pertumbuhan dan sebaran spesies fitoplankton penyebab HAB yaitu suhu, nutrisi, salinitas (Bates 1992: 267; Tindall & Morton 1992: 305), dan cahaya (Tindall & Morton 1992: 306).

Tabel 2.2. Dampak HAB terhadap kesehatan manusia dan penyebabnya

[Sumber : GEOHAB 2001: 3.]

Dampak HAB	Kelas	Spesies Penyebab
<b>Dampak terhadap kesehatan manusia</b>		
<i>Paralytic Shellfish Poisoning (PSP)</i>	Dinophyceae	<i>Alexandrium</i> spp., <i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> ,
	Cyanophyceae	<i>Anabaena circinalis</i>
<i>Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)</i>	Dinophyceae	<i>Dinophysis</i> spp., <i>Prorocentrum</i> spp.
<i>Neurotoxic Shellfish Poisoning (NSP)</i>	Dinophyceae	<i>Gymnodinium breve</i>
<i>Amnesic Shellfish Poisoning (ASP)</i>	Bacillariophyceae	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp., <i>Nitzschia navis-varingica</i>
<i>Azspiracid Shellfish Poisoning (AZP)</i>	Tidak diketahui	Tidak diketahui
Kerusakan pernapasan, iritasi kulit, dan dampak neurologis	Dinophyceae	<i>Gymnodinium breve</i> , <i>Pfiesteria piscicida</i>
	Cyanophyceae	<i>Nodularia spumigena</i>
Hepatotoksisitas	Cyanophyceae	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Nodularia spumigena</i>
<b>Dampak terhadap biota budidaya dan kultur</b>		
Hemolitik, hepatotoksisitas, efek osmoregulatorik, dan toksisitas	Dinophyceae	<i>Gymnodinium</i> spp., <i>Chlocodinium polykrikoides</i> , <i>Pfiesteria piscicida</i> , <i>Gonyaulax</i> spp.
	Raphidophyceae	<i>Heterosigma akashiwo</i> , <i>Chattonella</i> sp., <i>Fibrocapsa japonica</i>
	Prymnosiophyceae	<i>Chrysochromulina</i> spp., <i>Phaeocystis poucheti</i> , <i>Prymnesium</i> spp.
	Cyanophyceae	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Nodularia</i> spp.
Efek negatif terhadap perilaku makan	Pelagophyceae	<i>Aureococcus anophagefferens</i>
Hipoksia dan anoksia	Dinophyceae	<i>Prorocentrum micans</i> , <i>Ceratium furca</i>
Dampak mekanik	Bacillariophyceae	<i>Chaetoceros</i> spp.
Nekrosis dan iritasi insang	Prymnosiophyceae	<i>Phaeocystis</i> spp.
<b>Aktivitas pariwisata dan rekreasi</b>		
Produksi foam, sabun, perubahan warna, dan zat repelan	Dinophyceae	<i>Noctiluca scintilans</i> , <i>Prorocentrum</i> spp.
	Prymnosiophyceae	<i>Phaeocystis</i> spp.
	Bacillariophyceae	<i>Cylindrotheca closterium</i>
	Cyanophyceae	<i>Nodularia spumigena</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Lyngbya</i> sp.
<b>Dampak terhadap ekosistem laut</b>		
Hipoksia dan anoksia	Dinophyceae	<i>Gymnodinium</i> spp.
	Bacillariophyceae	<i>Skeletonema costatum</i>
	Prymnosiophyceae	<i>Phaeocystis</i> spp.
Dampak negatif terhadap perilaku makan	Pelagophyceae	<i>Aureococcus anophagefferens</i> , <i>Aureoumbra lagunensis</i>
Reduksi kecerahan air	Dinophyceae	<i>Prorocentrum minimum</i>

### 2.3.1. Faktor Fisika

#### 2.3.1.1. Suhu

Suhu air laut perairan tropis berkisar antara 28—31°C. Suhu memiliki pengaruh yang kuat pada fungsi fisiologis fitoplankton. Suhu tinggi akan memengaruhi proses metabolisme, menaikkan kecepatan perubahan sel, daya larut gas, respirasi, dan memengaruhi pergerakan plankton karena adanya perubahan viskositas sitoplasma sel. Suhu optimal untuk pertumbuhan fitoplankton adalah 20--30 °C dan proses fotosintesis optimal pada suhu 25—40 °C (Effendi 2003: 57). Kenaikan suhu air secara mendadak dan berlangsung secara terus menerus dapat mengakibatkan kelarutan gas dalam air menurun, sehingga fitoplankton mengalami kekurangan oksigen dan karbondioksida, yang diperlukan pada proses fotosintesis dan respirasi (Boney 1975: 24—25).

#### 2.3.1.2. Cahaya Matahari dan Kecerahan Perairan

Cahaya matahari merupakan faktor penting bagi biota perairan. Cahaya matahari memengaruhi proses fotosintesis fitoplankton (Cole 1994: 192). Cahaya sangat memengaruhi kehidupan fitoplankton sebagai produsen primer di perairan. Cahaya matahari berfungsi sebagai sumber energi yang digunakan untuk berfotosintesis, pertumbuhan, produktivitas, dan memengaruhi sebaran diatom pada perairan laut. Tingkat kecerahan (visibilitas) dan intensitas cahaya akan menurun seiring dengan peningkatan kedalaman. Kedalaman optimum bagi diatom untuk melakukan fotosintesis berkisar 5--20 m sedangkan proses fotosintesis optimal (*Photosynthetically Active Radiation*/PAR) terjadi pada panjang gelombang 0,40--0,70  $\mu$  (Boney 1975: 17).

Kecerahan perairan merupakan kondisi yang menggambarkan kemampuan penetrasi cahaya matahari menembus air hingga kedalaman tertentu. Kecerahan ditentukan oleh intensitas cahaya, sudut paparan cahaya, pantulan permukaan air, absorpsi, dan hamburan cahaya di air (Kendeigh 1975: 57). Penetrasi sinar matahari ke dalam perairan dipengaruhi oleh keberadaan partikel suspensi. Greenberg *dkk.* (1992: 2-8) menyatakan bahwa keberadaan partikel tersuspensi di dalam air menyebabkan kekeruhan dan mengurangi daya penetrasi cahaya

matahari (Kendeigh 1975: 57). Bahan-bahan tersebut dapat berupa partikel tanah liat, pasir, lumpur, senyawa organik berwarna, plankton, serta organisme mikroskopik lain. Penetrasi cahaya matahari yang rendah akan menyebabkan turunnya produktivitas fitoplankton. Rendahnya penetrasi cahaya matahari dapat membahayakan beberapa spesies invertebrata, sehingga dapat menurunkan keanekaragaman spesies yang ada di perairan (Dods 2002: 291).

### 2.3.1.3. Arus Air

Arus air berpengaruh terhadap aliran suplai makanan, kepadatan, dan distribusi plankton dari satu wilayah perairan menuju perairan lain. Arus merupakan pencerminan langsung dari musim, pola angin yang bertiup, dan akan memengaruhi lapisan air di bawahnya. Arus air dapat mendistribusikan unsur hara yang berasal dari muara sungai menuju perairan yang lebih dalam (Nontji 1993: 129). Keberadaan fitoplankton berlimpah umumnya terdapat di muara sungai, karena masukan nutrisi dari sungai dan air tanah yang terbawa oleh arus perairan (Wickstead 1965: 31).

## 2.3.2. Faktor Kimia

### 2.3.2.1. Salinitas

Sebaran salinitas di laut dipengaruhi oleh pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan, dan aliran sungai. Kisaran salinitas perairan laut di Indonesia berkisar antara 30--35‰. Menurut Kinne (1964: 281) (*lihat* Wardhana 1986: 24), salinitas berpengaruh terhadap fungsi dan struktur organisme melalui perubahan osmotik, daya apung, proporsi bahan terlarut, koefisien absorpsi dan kejenuhan kelarutan gas, densitas, dan viskositas. Salinitas pada suatu perairan dapat menjadi faktor pembatas bagi kehidupan (Bates 1992: 267; Tindall & Morton 1992: 305) dan berpengaruh terhadap distribusi fitoplankton (Nontji dan Arinardi 1975: 21—36). Penurunan kadar salinitas dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton. Kelimpahan optimum fitoplankton di perairan terjadi pada kisaran salinitas sebesar 30,5 ‰ (Nontji 1993: 64--67).

### 2.3.2.2. Oksigen Terlarut (DO) dan Karbon Anorganik Terlarut (DIC)

Oksigen terlarut (*dissolve oxygen*=DO) dibutuhkan oleh organisme untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat untuk menghasilkan energi bagi pertumbuhan dan reproduksi (Cole 1994: 242 & 248), serta pembusukan yang dilakukan oleh mikroorganisme aerob. Oksigen terlarut pada perairan juga memengaruhi reaksi oksidasi-reduksi berbagai senyawa kimia (Brower *dkk.* 1990: 62). Sumber utama oksigen terlarut dalam suatu perairan berasal dari proses difusi udara bebas dan hasil fotosintesis fitoplankton (Goldman & Horne 1983: 96), yang hidup dalam perairan tersebut. Menurut Salmin (2005: 22), kecepatan difusi oksigen dari udara tergantung dari beberapa faktor seperti kekeruhan air, suhu, tekanan, salinitas, pergerakan massa air (seperti arus, gelombang, dan pasang surut) dan udara (angin dan iklim). Kandungan oksigen terlarut di perairan sangat dipengaruhi oleh suhu dan tekanan udara. Kadar oksigen dalam air laut semakin bertambah apabila suhu menurun dan tekanan udara meningkat (Bates 1992: 267; Tindall & Morton 1992: 305). Kandungan normal oksigen terlarut di perairan pada tekanan 1 atm dan suhu 25--30° C adalah sebesar 7--8 mg/L (Jeffries & Mills 1990: 9--10).

Kandungan oksigen terlarut di perairan juga dipengaruhi oleh limbah organik. Limbah yang mengandung bahan-bahan organik akan didekomposisi oleh mikroorganisme perairan. Bahan-bahan organik tersebut merupakan nutrisi, yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme perairan, termasuk fitoplankton. Pertambahan jumlah mikroorganisme akan meningkatkan penggunaan oksigen terlarut yang ada di perairan. Hal tersebut menyebabkan penurunan kandungan oksigen terlarut yang ada (Jeffries & Mills 1990: 10).

### 2.3.2.3. Nutrisi (Nitrogen dan fosfat)

Nutrisi merupakan faktor yang sangat penting bagi pertumbuhan, perkembangan, dan sebaran fitoplankton di perairan. Kelimpahan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh faktor nutrisi tertentu. Nutrisi utama yang dibutuhkan fitoplankton untuk pertumbuhan, yaitu nitrogen (N) dan fosfat ( $\text{PO}_4^{4-}$ ). Nitrogen di perairan berupa amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrogen dan

fosfat dibutuhkan dalam pembentukan membran sel maupun protein pada fitoplankton (Suthers & Rissik 2009: 5).

Pertumbuhan fitoplankton tergantung pada tinggi rendahnya kadar nitrogen dan fosfat perairan. Rasio kadar N:P (*Redfield ratio*) di perairan alami adalah 16:1, yang dapat digunakan fitoplankton untuk tumbuh optimal. Kadar nitrogen dan fosfat optimal yang dibutuhkan oleh fitoplankton, yaitu masing-masing 0,9—3,5 ppm (Lalli & Parsons 2007: 55) dan 0,09—1,80 ppm (Wiadnyana 1996: 16). Pertumbuhan fitoplankton dibatasi oleh kadar nitrogen dan fosfor yaitu masing-masing di bawah 0,1 ppm dan 0,009 ppm (Wardhana 1986: 28). Sebaran nitrogen dan fosfat di perairan juga bergantung pada keadaan lingkungan di sekitarnya, misalnya sumbangan dari daratan, proses erosi, curah hujan, dan arus (Lalli & Parsons 2007: 55; Suthers & Rissik 2009: 6). Kedua zat tersebut juga dapat digunakan untuk mengetahui kualitas perairan. Aktivitas manusia seperti pembuangan limbah, pembukaan lahan, dan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan meningkatnya konsentrasi kedua zat tersebut (Suthers & Rissik 2009: 5—6).

#### 2.3.2.4. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) pada dasaran dan kolom air, merupakan suatu komponen kimia yang penting dari suatu habitat perairan. Derajat keasaman suatu perairan memengaruhi sebaran dan keanekaragaman berbagai organisme, menentukan berbagai reaksi kimia yang ada di lingkungan (Brower *dkk.* 1990: 64), dan menunjukkan keseimbangan antara asam dan basa dalam air. Derajat keasaman merupakan konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan, yang biasa disebut pH (Brower *dkk.* 1990: 64).

Nilai pH di perairan sangat dipengaruhi oleh keseimbangan kadar  $\text{CO}_2$  (bikarbonat) dan  $\text{HCO}_3^-$  (ion karbonat). Peranan kedua senyawa tersebut yaitu sebagai buffer untuk menjaga kestabilan pH di dalam air (Rachmawattie 1997: 14). Nilai pH 7 menandakan kondisi perairan netral. Perubahan pH 0,5—1,0 dapat memengaruhi aktivitas biologi secara nyata (Brower *dkk.* 1990: 64).

Perubahan pH dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti adanya limbah dan proses dekomposisi oleh bakteri. Limbah yang masuk ke dalam suatu



perairan akan meningkatkan konsentrasi logam. Logam tersebut akan mengikat ion  $\text{OH}^-$ , sehingga meningkatkan konsentrasi ion  $\text{H}^+$  yang mengakibatkan turunnya pH air. Proses dekomposisi detritus oleh bakteri akan menghasilkan senyawa asam-asam organik yang juga akan menurunkan pH air (Jeffries & Mills 1990: 167—168).

Derajat keasaman (pH) juga dapat menentukan ikatan fosfat dengan zat lain seperti kalium, besi, merkuri, atau aluminium. Perubahan pH juga dapat memengaruhi tingkat toksisitas air dan proses fotosintesis, serta reaksi fisiologis berbagai jaringan dan reaksi enzim yang terjadi pada biota laut. Selain itu, pH dapat berpengaruh terhadap kelarutan ion karbon di perairan sehingga akan berdampak pada proses fotosintesis fitoplankton. Hal tersebut dapat digunakan sebagai petunjuk tentang potensi dominansi fitoplankton dan produktifitas perairan. Kisaran pH yang optimum untuk mendukung kehidupan fitoplankton di perairan laut adalah 8,2--8,7 (Burhan *dkk.* 1994: 8—9).

### 2.3.3. Faktor Biologi

Keberadaan spesies penyebab HAB di perairan juga dipengaruhi oleh faktor biologi, seperti predasi, siklus reproduksi, tingkah laku, dan kompetisi. Predator atau *grazing* akan memengaruhi hilangnya biomassa plankton. Hubungan antara biota yang dimangsa dan biota pemangsa seperti hubungan antara fitoplankton dan zooplankton terjadi pada perairan. Hubungan tersebut berlangsung karena faktor predasi, yang menentukan batasan fitoplankton dan zooplankton di suatu perairan. Dinoflagellata di perairan akan menjadi pakan bagi zooplankton herbivora (Wickstead 1965: 19--21). Misalnya, tintinid yang memangsa *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (Usup & Azanza 1992: 81). Keberadaan spesies penyebab HAB juga dipengaruhi oleh kompetisi fitoplankton dari kelompok lainnya di perairan, seperti Cyanophyceae dan Bacillariophyceae (Yuliana 2007: 86).

Siklus reproduksi juga menentukan keberhasilan kehidupan fitoplankton. Saat kondisi lingkungan mendukung, pertumbuhan populasi sangat cepat, yaitu berkisar 1—15 hari dengan kelipatan dan kelimpahan ganda. Ada beberapa kelompok yang memiliki kista, yaitu sel vegetatif yang memipih dan bulat

(Graham & Wilcox 2000: 255—256). Kista tersebut tidak akan tumbuh menjadi sel fungsional dan dapat ditemukan dalam sedimen perairan dangkal. Kista tersebut akan tumbuh menjadi sel fungsional kembali, apabila cahaya dan kadar oksigen kembali normal (Graham & Wilcox 2000: 217—218).

#### **2.4. LOKASI BUDIDAYA KERANG HIJAU (*Perna viridis*) KAMAL MUARA, JAKARTA UTARA**

Teluk Jakarta merupakan wilayah yang berfungsi sebagai lahan budidaya perikanan. Salah satu kegiatan budidaya di Teluk Jakarta yaitu budidaya kerang hijau (*Perna viridis*), yang berlokasi di Kamal Muara, Jakarta Utara. Wilayah pesisir Kelurahan Kamal Muara, Jakarta Utara, berbatasan dengan Kelurahan Dadap, Tangerang, Banten di sebelah barat dan Muara Angke di sebelah timur. Pengelolaan Teluk Jakarta yang diprakarsai oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan RI telah menghasilkan kesepakatan bahwa pengelolaan perairan pesisir utara Jakarta melibatkan Propinsi DKI Jakarta dan Propinsi Banten, serta melibatkan Propinsi Jawa Barat Bogor, Puncak, dan Cianjur (Bopunjur) karena daerah tersebut sangat memengaruhi kualitas perairan Teluk Jakarta dengan adanya 13 sungai yang mengalir dari daerah tersebut (DPPK 2006: 18).

Lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara berada di kawasan Teluk Jakarta. Teluk Jakarta merupakan daerah teluk semi tertutup, yang memiliki banyak masukan *terrigenous* dan nutrisi dari 13 muara sungai. Lokasi budidaya tersebut berada di dekat kawasan industri. Kondisi nutrisi melimpah dari limbah industri menjadikan perairan pesisir utara Jakarta paling produktif secara biologis di Indonesia (Praseno & Kastoro 1979:1).

Lokasi yang menjadi kawasan pengembangan budidaya kerang hijau (*Perna viridis*), seharusnya memenuhi persyaratan, antara lain (1) terhindar dari fluktuasi kadar garam yang tinggi, (2) dasar perairan lumpur berpasir, (3) jauh dari pengaruh sungai besar, (4) banyak terdapat benih kerang hijau, (5) perairan subur (unsur hara dan zat makanan) tetapi harus dicegah terjadinya eutrofikasi (Darmono 2001: 16).

Budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) berkembang pesat di pusat perairan Kamal Muara. Perairan Kamal Muara selain didominasi oleh bagan/rakit tancap

untuk budidaya kerang hijau, juga terdapat alat-alat tangkap lain yang bersifat statis, seperti bagan dan sero. Kegiatan budidaya kerang hijau tersebut sudah dimulai sejak tahun 1991 dengan jumlah rakit sebanyak 50 unit. Produksi dari hasil budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) tersebut bisa mencapai 15-20 ton per bagan tancap setiap minggu dan menguntungkan pembudidaya (DPPK 2006: 47).

Lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) di Kamal Muara erat kaitannya dengan spesies fitoplankton penyebab HAB. Hal tersebut dapat terjadi salah satunya disebabkan oleh pengayaan nutrisi perairan, yang berasal dari masukan nutrisi dari daratan atau sungai (Hallegraeff 1991: 14). Hal tersebut dapat memperkaya nutrisi perairan dan mendukung terjadinya eutrofikasi (Hallegraeff 1991: 14), yang dapat menyebabkan *blooming* spesies fitoplankton penyebab HAB.

Eutrofikasi merupakan proses pengayaan nutrisi alamiah dan dapat terjadi pada berbagai perairan. Kontaminasi bahan-bahan nitrat dan fosfat akibat aktivitas manusia, yang berlangsung terus menerus akan mempercepat proses eutrofikasi. Semakin kaya suatu perairan dengan nitrat dan fosfat, maka kelimpahan plankton akan semakin tinggi pula. Kasus pengayaan akan lebih meningkat pada perairan pantai, karena adanya pengaruh hujan di darat dan lokasi yang berdekatan dengan daerah urban, pertanian, dan industri (Praseno 1995: 110).

Beberapa kasus terkait eutrofikasi telah terjadi di sekitar Teluk Jakarta, antara lain: kematian massal udang akibat ledakan populasi *Gymnodinium breve* (Praseno 1995: 112), kematian massal ikan akibat ledakan populasi *Trichodesmium* dan *Noctiluca* tahun 1993 (Praseno 1995: 122), dan kematian massal ikan di wilayah Pulau Pari akibat ledakan populasi *Trichodesmium* tahun 1997 (Praseno dkk. 1999: 434). Oleh karena itu, dampak HAB harus diwaspadai untuk memroteksi dampak melimpahnya HAB terhadap kesehatan konsumen dan ekosistem, estetika lingkungan perairan, dan budidaya perikanan (Fachrul & Syach 2006: 1; Praseno 1995: 119).

Spesies fitoplankton yang berpotensi menyebabkan HAB telah ditemukan di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara pada tahun 2010 yaitu *Ceratium furca*, *Dinophysis* spp., *D. caudata*, *D. novergica*,

*D. miles*, *D. mitra*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Gonyaulax spinifera*, *Gymnodinium sanguineum*, *Nitzschia* spp., *Nitzschia lorenziana* sp., *Prorocentrum micans*, *P. gracile*, *P. maculosum*, *Skeletonema costatum*, dan *Trichodesmium* spp. (Widiarti dkk. 2011: 2). Spesies-spesies tersebut berpotensi menimbulkan DSP dan PSP bagi manusia, gangguan pernapasan dan kerusakan mekanik pada biota, dan deplesi oksigen (anoksia dan hipoksia) (Hallegraeff 1991: 17—19).

Kasus-kasus yang sering terjadi akibat akumulasi toksin dari spesies fitoplankton toksik umumnya terdapat pada bivalvia, misalnya pada kerang hijau (*Perna viridis*). Gangguan kesehatan dan korban kematian pada manusia disebabkan oleh spesies-spesies dari Ordo Dinophysiales maupun spesies lain yang dapat menyebabkan PSP yaitu *Alexandrium*, *Gonyaulax*, dan *Pyrodinium*. Kasus PSP di Indonesia, telah terjadi Teluk Kao dan Ambon. Keracunan terjadi pada 33 orang dan 8 orang anak-anak mengalami kematian setelah mengonsumsi kerang yang telah mengakumulasi toksin PSP (Wiadnyana 1996: 20)

Tingkat perparahan PSP bergantung pada tingkat toksisitas racun. (Hallegraef 1991: 16). Kadar racun bergantung pada kelimpahan dan waktu ledakan populasi spesies fitoplankton toksik di perairan. Contoh kasus PSP di Teluk Manila, yang terjadi pada saat *blooming Pyrodinium bahamense* var. *depressum*, tampak pada racun yang ditemukan dalam kerang hijau (*Perna viridis*). Kadar racun tersebut mencapai lebih dari 1000 µg/100 gram daging kerang, ketika kelimpahan *Pyrodinium bahamense* var. *depressum* mencapai 10.000—1.000.000 sel/L air laut. Kondisi tersebut menyebabkan kerang sangat berbahaya untuk dimakan, karena ambang batas toleransi racun PSP adalah 80 µg/100 gram daging kerang. Ambang batas tersebut setara dengan kelimpahan spesies fitoplankton toksik sekitar 1.000 sel/L (Wiadnyana 1996: 20).

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN

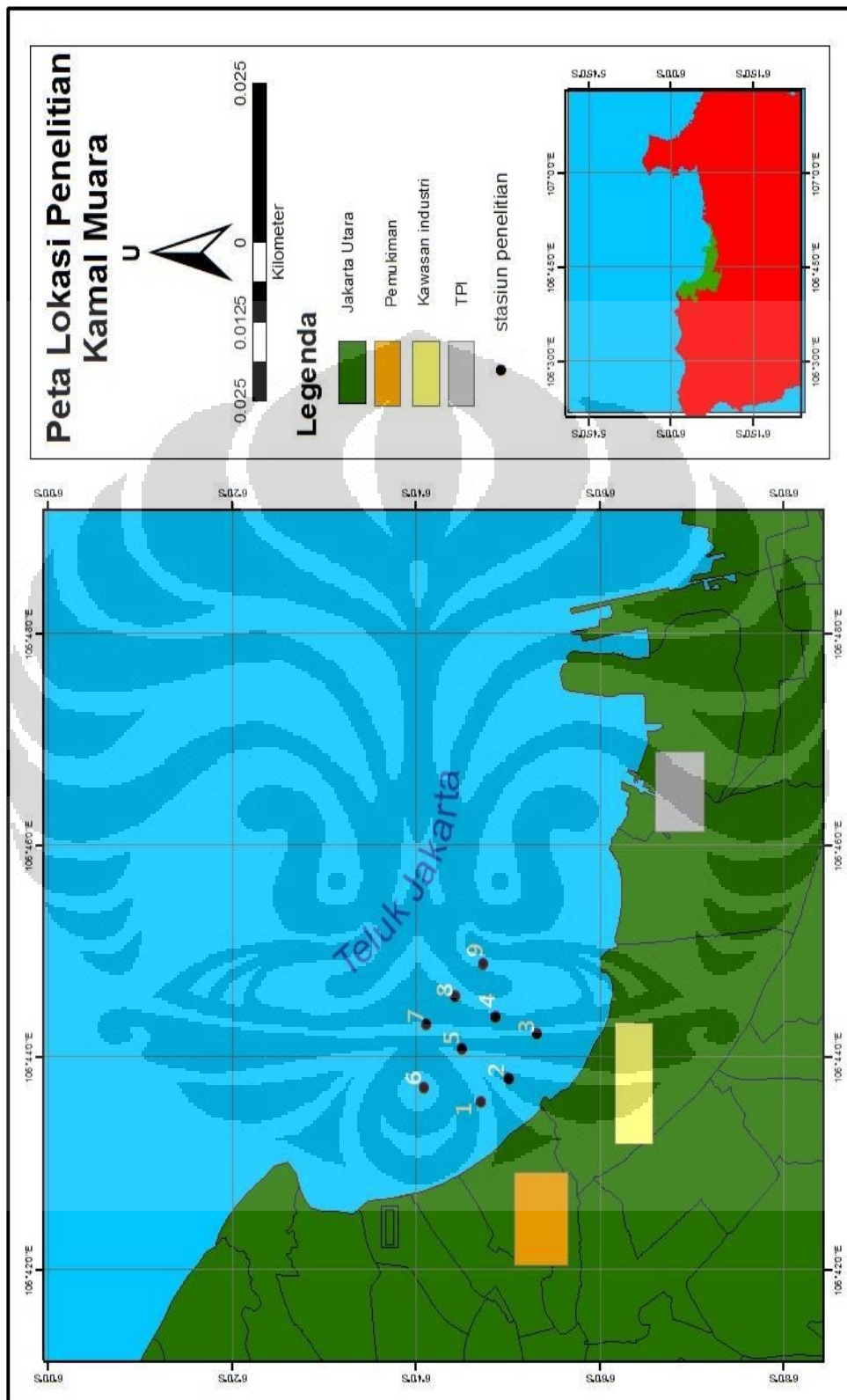
Sampel plankton diambil di perairan budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara (Gambar 3.1). Sampel fitoplankton diambil di sembilan stasiun, yang titik koordinatnya telah ditetapkan sebelumnya. Pemilihan stasiun dilakukan secara *purposive random sampling*. Pengambilan sampel dilakukan tiga kali, yaitu pada bulan Mei, (mewakili Musim Peralihan I), Juli (mewakili Musim Timur), dan Oktober (mewakili Musim Peralihan II) 2011. Sampel kemudian dicacah di Laboratorium Biologi Kelautan Departemen Biologi FMIPA UI.

### 3.2. ALAT

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan sampel, antara lain jaring plankton (ukuran Ø mata jaring 20 µm, panjang 100 cm, dan Ø mulut jaring 25 cm), botol sampel 250 ml, botol sampel nutrisi 750 ml, termometer batang, *hand refractometer* [AS ONE], *pH indicator paper* [Merck], *secchi disc* (Ø 25 cm), DO meter [HANNA], alat pengukur arus, kamera digital [NIKON SE], *Global Positioning System* (GPS) [GARMIN 76], papan catat, dan alat tulis. Peralatan yang digunakan dalam pencacahan sampel di laboratorium, antara lain bilik pencacah *Sedgewick-rafter* [IWAKI], *cover glass* berukuran 18x18 mm dan 24x60 mm, gelas objek berukuran 25,4 x 76,2 mm, pipet pasteur [BRAND], mikroskop [NIKON SE], alat penghitung (*counter*) [HOPE], dan alat tulis.

### 3.3. BAHAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian berupa sampel plankton dari perairan lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, kertas label, *aluminium foil* dan formalin 40%.

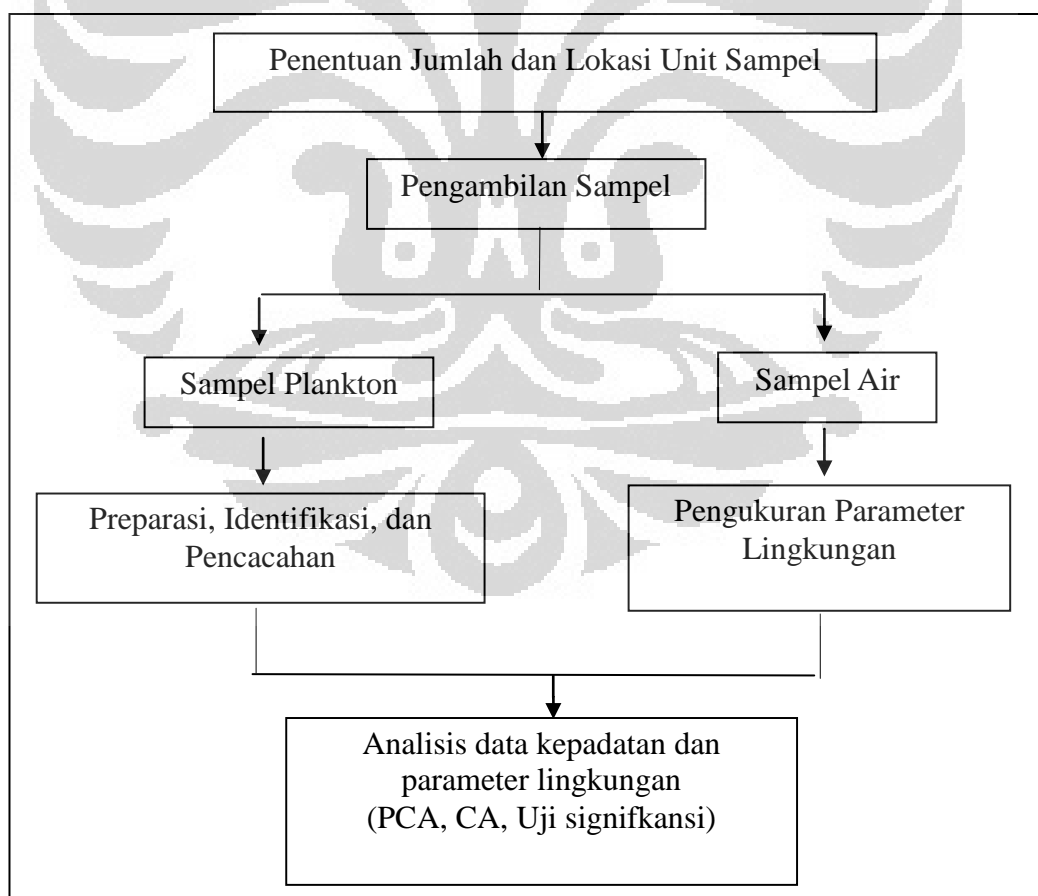


Gambar 3.1. Peta lokasi sampling

### 3.4. CARA KERJA

Langkah pertama yang dilakukan dalam alur kerja penelitian (gambar 3.4), yaitu menentukan jumlah unit sampel dan lokasi pengambilan sampel.

Pengambilan sampel dan pengukuran parameter lingkungan dilakukan pada setiap titik koordinat pengambilan sampel (tabel 3.4). Langkah berikutnya adalah preparasi dan pencacahan di laboratorium. Data fitoplankton yang diperoleh kemudian ditabulasi dan dianalisis berdasarkan data komposisi dan kepadatan fitoplankton tersebut. Data parameter lingkungan yang diperoleh kemudian ditabulasi dan dianalisis kaitannya dengan sebaran fitoplankton menggunakan Analisis Komponen Utama (AKU) atau *Principle Component Analysis* (PCA) dan Analisis Faktorial Korespondensi (AFK) atau *Correspondence Analysis* (CA). Hasil analisis kemudian dibahas, disimpulkan, dan disarankan untuk menambah manfaat penelitian tersebut. Bagan alur kerja penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.4. Alur kerja penelitian

Tabel 3.4. Koordinat stasiun penelitian

Stasiun	Bujur Timur (BT)	Lintang Selatan (LS)
1	06°04'69"	106°43'57"
2	06°05'04"	106°43'78"
3	06°05'33"	106°44'21"
4	06°04'82"	106°44'33"
5	06°04'48"	106°44'06"
6	06°04'10"	106°43'70"
7	06°04'13"	106°44'32"
8	06°04'43"	106°44'39"
9	06°04'73"	106°44'84"

#### 3.4.1. Pengambilan Sampel Plankton dan Pencacahan

Pengambilan sampel fitoplankton di seluruh stasiun menggunakan modifikasi metode yang telah dilakukan oleh Anderson *dkk.* (1999), yaitu pengambilan sampel menggunakan jaring plankton yang ditarik vertikal pada kedalaman 10 meter. Sampel pada penelitian diambil dengan cara menarik jaring plankton secara vertikal mulai dari kedalaman 1,5 meter. Pengambilan sampel diambil di sembilan stasiun (gambar 3.1.) berjarak 100—200 meter antar stasiun. Jaring plankton kemudian dibilas dengan mencelupkan jaring ke dalam air laut di lokasi yang sama tanpa mengenai mulut jaring. Hal tersebut bertujuan agar seluruh plankton yang terjaring dapat terkumpul pada botol pengumpul, tanpa membuat plankton dari luar jaring masuk ke dalam botol tersebut (Wickstead 1965: 36).

Sampel plankton yang terkumpul pada botol penampung dituang ke dalam botol sampel berukuran 250 ml. Sampel kemudian diberi formalin 40% hingga mencapai konsentrasi 4%. Botol sampel ditandai dengan kertas label, yang telah diberi keterangan. Label berisi nomor sampel (sesuai nomor urut stasiun), lokasi, dan tanggal pengambilan sampel. Jumlah total sampel plankton yang dikoleksi di sembilan stasiun, sebanyak tiga kali pengambilan adalah 27 botol sampel.

Sampel yang telah dipreservasi kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pencacahan. Pencacahan dilakukan dengan metode sub-sampel (1 ml)



(Arinardi 1997; Wickstead 1965). Sampel dalam botol diaduk perlahan kemudian diambil sebanyak 1 ml dengan pipet tetes. Sampel kemudian diteteskan ke dalam bilik pencacah *Sedgewick-rafter*. Pencacahan dilakukan di bawah mikroskop pada perbesaran 10x10, yang dibantu alat hitung (*counter*). Proses identifikasi juga dilakukan pada perbesaran 10x40, setelah diisolasi terlebih dahulu. Identifikasi menggunakan buku identifikasi Fujioka (1990), Fukuyo & Borja (1991), Hallegraeff (1991), Richard (1987), Smith (1977), Taylor *dkk.* (1995), dan Tomas (1997). Hasil pencacahan kemudian ditabulasi dan dianalisis untuk mendapatkan data komposisi, kepadatan, dan sebaran fitoplankton penyebab HAB. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik, diagram, dan peta isoplank.

### 3.4.2. Pengukuran Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan diambil berdasarkan faktor-faktor yang menentukan pertumbuhan dan penentuan komposisi, kepadatan, dan sebaran fitoplankton. Data suhu, derajat keasaman (pH), salinitas, oksigen terlarut (DO), kecepatan arus, kedalaman, dan kecerahan, diukur dengan peralatan yang telah disiapkan (tabel 3.4.2.). Kadar nitrat dan fosfat perairan dapat diketahui dengan analisis sampel di laboratorium menggunakan spektrofotometer. Data hasil pengukuran parameter lingkungan kemudian ditabulasi dan dianalisis untuk mengetahui kondisi ekologis perairan secara keseluruhan.

Tabel 3.4.2. Parameter lingkungan dan alat ukur

No	Parameter	Alat Pengukuran
1	kecerahan (m)	<i>secchi disc</i>
2	kedalaman (m)	meteran
3	suhu (°C)	termometer batang
4	salinitas (‰)	refraktometer
5	derajat keasaman (pH)	<i>pH paper indicator</i>
6	oksigen terlarut (DO) (ppm)	DO meter
7	kandungan nitrat (ppm)	spektrofotometer
8	kandungan fosfat (ppm)	spektrofotometer
9	arus permukaan (m/det)	alat pengukur arus

### 3.5. Analisis Data

#### 3.5.1. Kepadatan Sampel Fitoplankton

Data komposisi dan kepadatan fitoplankton hasil pencacahan ditabulasi. Jumlah kepadatan sampel plankton menggunakan satuan sel/dm<sup>3</sup>, dapat diketahui dengan persamaan 3.5.1(1) dan 3.5.1(2) (Wickstead 1965: 55 & 64). Kepadatan dikonversi ke dalam satuan sel/L.

$$D = \frac{q}{f \times v} \quad \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3.5.1(1)})$$

Keterangan:

D = jumlah kandungan plankton (sel/dm<sup>3</sup>);

q = jumlah individu dalam sub sampel (sel);

f = fraksi yang diambil (volum sub sampel per volume sampel);

v = volum air tersaring (dm<sup>3</sup>).

Volum air tersaring (Arinardi *dkk.* 1997: 39) dihitung sebagai berikut:

$$V = a \times p \quad \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3.5.1(2)})$$

Keterangan:

V = volum air tersaring (dm<sup>3</sup>);

a = luas mulut jaring (dm<sup>2</sup>);

p = panjang kolom air (dm) atau tarikan secara vertikal/horizontal.

#### 3.5.2. Analisis Komponen Utama (AKU) atau *Principle Component Analysis* (PCA)

Analisis Komponen Utama (AKU) digunakan sebagai pendekatan analisis statistik multivariabel terhadap hubungan variabel fisika-kimia perairan terhadap stasiun dan waktu pengamatan. Metode tersebut mendeskripsikan data untuk mempresentasikan informasi maksimum suatu matriks data ke dalam bentuk grafik. Matriks data yang diterjemahkan terdiri dari stasiun dan waktu pengamatan sebagai individu statistik (aksis atau baris) dan variabel parameter

fisika-kimia perairan (ordinat atau kolom) sebagai variabel kuantitatif (Legendre & Legendre 1983: 25).

Variabel fisika-kimia yang diukur memiliki unit dan ragam berbeda, sehingga sebelum dianalisis menggunakan AKU, data harus dinormalisasikan melalui pemusatan dan pereduksian. Pereduksian merupakan hasil bagi antara nilai parameter yang telah dipusatkan dengan simpangan baku parameter tersebut (Legendre & Legendre 1983: 25). Sedangkan, hubungan antara dua variabel dilakukan dengan pendekatan matriks korelasi yang dihitung dari indeks sintetik. Menurut Ludwig & Reynolds (1988: 21), korelasi linear antara kedua variabel, yang telah dihitung dari indeks sintetik, adalah peragam dari dua variabel yang telah dinormalisaikan. Oleh karena itu, hasil analisis AKU tidak berasal dari variabel-variabel awal (inisial), tetapi dari indeks sintetik hasil kombinasi linear variabel-variabel awal tersebut.

Indeks yang digunakan dalam AKU terdiri dari komponen utama pertama atau sumbu (aksis) utama ke-1 (F1) dan komponen utama ke-2 (F2). Komponen utama ke-2 menginformasikan pelengkap komponen utama. Proses tersebut berlanjut hingga diperoleh komponen utama ke-p, di mana bagian informasi yang dijelaskan semakin kecil. Analisis pengukuran jarak pada AKU menggunakan jarak Euklidian, yaitu kuadrat perbedaan antara individu (baris) dan variabel (kolom) yang berkoresponden pada data. Rumus jarak Euklidian (Legendre & Legendre 1983: 25 & Bengen 1998: 20) dapat dilihat pada persamaan 3.5.2.:

$$d^2 = \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2$$

.....(persamaan 3.5.2.)

Keterangan:

$d^2$  : jarak Euklidian

$i, i'$  : dua individu baris

$j$  : parameter fisika-kimia perairan (kolom) ke-1 hingga ke-p.

Semakin kecil jarak Euklidian antar stasiun dan waktu pengamatan, maka semakin mirip karakteristik fisika-kimia perairan tersebut. Analisis AKU menginformasikan variabel fisika-kimia lingkungan yang mencirikan setiap waktu dan stasiun pengamatan. Hasil analisis AKU akan dihubungkan dengan AFK untuk menjelaskan sebaran fitoplankton di lokasi penelitian.

### 3.5.3. Analisis Faktorial Korespondensi (AFK) atau *Correspondence Analysis* (CA)

Sebaran kepadatan fitoplankton terhadap stasiun dan waktu pengamatan dapat dianalisis menggunakan Analisis Faktorial Korespondensi (AFK) (Legendre & Legendre, 1983). Tujuan analisis tersebut adalah untuk mengetahui sebaran fitoplankton dominan penyebab HAB, yang mencirikan setiap waktu dan stasiun pengambilan. Stasiun dan waktu pengamatan berdiri sebagai matriks data  $i$  baris dan kepadatan fitoplankton berdiri sebagai data  $j$  kolom. Analisis tersebut tergolong ke dalam analisis multivariabel atau multidimensi.

AFK merupakan analisis AKU ganda dengan pengukuran jarak Chi-kuadrat (Bengen, 1998). Adapun rumus Chi-kuadrat dilihat pada persamaan 3.5.3. berikut:

$$d(i) = \sum \frac{x_i x_j^2}{x_j} \dots\dots\dots(\text{persamaan 3.5.3.})$$

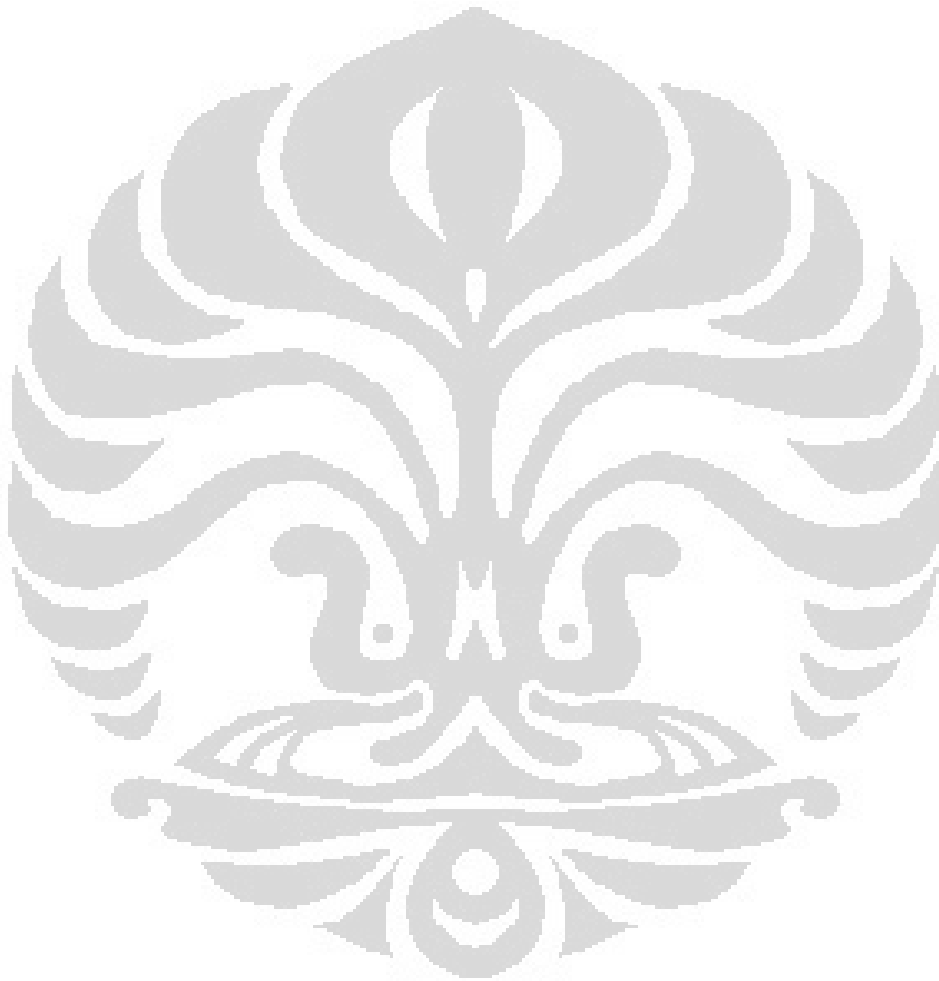
Hasil analisis AFK akan dihubungkan dengan hasil analisis AKU, sehingga didapatkan pola sebaran fitoplankton penyebab HAB di perairan lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara dan parameter lingkungan yang paling memengaruhi pola sebaran tersebut secara spasial dan temporal. Program yang digunakan adalah piranti lunak *Palaentological Statistic* (PAST) ver. 2.11.

### 3.5.4 Uji Korelasi

Uji korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antar parameter lingkungan terhadap kepadatan fitoplankton penyebab HAB. Parameter lingkungan yang dijadikan variabel bebas adalah suhu, pH, salinitas, DO, nitrat, fosfat, kedalaman, kecerahan, dan kecepatan arus. Uji korelasi menggunakan piranti lunak *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS) versi 17.0.

### 3.5.5. Pola Sebaran Fitoplankton penyebab HAB

Pola sebaran fitoplankton penyebab HAB dipetakan berdasarkan data kepadatan fitoplankton dominan penyebab HAB di setiap stasiun. Data kepadatan pada peta ditampilkan dengan lima kisaran kepadatan. Pembuatan pola sebaran dilakukan dengan piranti lunak *Geographic Information System (GIS)* [ArcGIS versi 9.6].



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. KOMPOSISI, KEPADATAN, DAN SEBARAN SPESIES *HARMFUL ALGAL BLOOM* (HAB)

Komposisi spesies fitoplankton penyebab *Harmful Algal Bloom* (HAB) di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara terdiri dari spesies-spesies pada kelas Dinophyceae, Raphidophyceae, dan Bacillariophyceae. Spesies-spesies dari kelas Dinophyceae, yaitu: *Ceratium furca*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis caudata*, *Dinophysis rotundata*, *Gonyaulax polygramma*, *Gonyaulax spinifera*, *Gymnodinium catenatum*, *Gymnodinium sanguineum*, *Noctiluca miliaris*, *Prorocentrum micans*, dan *Prorocentrum sigmoides*. Spesies-spesies dari kelas Bacillariophyceae, yaitu: *Chaetoceros* spp., *Nitzschia* spp., *Skeletonema costatum*, dan *Thalassiosira* spp., dan dari kelas Raphidophyceae, yaitu *Chattonella* spp. Spesies-spesies tersebut telah ditemukan di perairan Indonesia (Adnan 1994: 170; Praseno 1995: 199; Adnan *dkk.* 2009: 34) dan dikategorikan ke dalam fitoplankton HAB, karena memiliki efek negatif dan menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia maupun ekosistem (tabel 4.1(1)) (GEOHAB 2001: 3; Praseno & Wiadnyana 1996: 125; Smayda 1997: 1051).

##### 4.1.1. Kelompok Fitoplankton HAB Penyebab *Red Tide*

Kelompok fitoplankton HAB yang ditemukan adalah kelompok penyebab *red tide* dan *toxin producer*. Kelompok penyebab *red tide* yang ditemukan di lokasi penelitian, yaitu dari kelas Raphidophyceae (*Chattonella* spp.), kelas Dinophyceae (*Gonyaulax polygramma*, *Noctiluca miliaris*, *Prorocentrum micans*, dan *Prorocentrum sigmoides*) dan kelas Bacillariophyceae (*Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*, dan *Thalassiosira* spp.).

Tabel 4.1(1). Fitoplankton penyebab HAB yang ditemukan di lokasi penelitian.

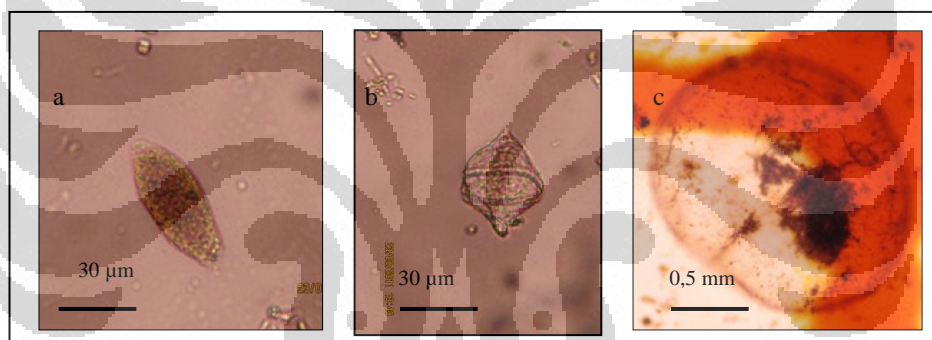
[Sumber : GEOHAB 2001; Praseno &amp; Wiadnyana 1996; Smayda 1997; WESTPAC 2001]

Nama Spesies	Potensi Dampak HAB
<i>Chattonella</i> spp.	<i>Red tide</i> , dampak mekanik, reduksi kualitas air; efek hemolitik, hepatotoksisitas pada SDL, dan osmoregulatorik pada fauna laut
<i>Gonyaulax polygramma</i>	<i>Red tide</i> , menyebabkan efek osmoregulatorik biota
<i>Noctiluca miliaris</i>	<i>Red tide</i> , menghasilkan busa, lendir, dan zat allelopatic, <i>hypoxia</i> , <i>anoxia</i> ,
<i>Prorocentrum micans</i>	<i>Red tide</i> , <i>hypoxia</i> , <i>anoxia</i>
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	<i>Red tide</i> , <i>hypoxia</i> , <i>anoxia</i>
<i>Ceratium furca</i>	<i>Hypoxia</i> , <i>anoxia</i>
<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Hypoxia</i> , <i>anoxia</i>
<i>Thalassiosira</i> spp.	<i>Hypoxia</i> , <i>anoxia</i>
<i>Gonyaulax spinifera</i>	Efek hemolitik, hepatotoksik, osmoregulatorik
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	<i>Red tide</i> , reduksi kualitas air; efek hemolitik, hepatotoksisitas, osmoregulatorik; toksik pada biota
<i>Chaetoceros</i> spp.	Dampak mekanik pada insang ikan (pada pernapasan)
<i>Dinophysis acuminata</i>	<i>Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)</i>
<i>Dinophysis caudata</i>	<i>Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)</i>
<i>Dinophysis rotundata</i>	<i>Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)</i>
<i>Nitzschia</i> spp.	<i>Amnesic Shellfish Poisoning (ASP)</i>
<i>Gymnodinium catenatum</i>	<i>Paralytic Shellfish Poisoning (PSP)</i>

*Chattonella* spp. (gambar 4.1.1(1)) berasal dari kelas Raphidophyceae (Fukuyo *dkk.* 1990: 333). Spesies tersebut ditemukan hampir di seluruh stasiun pada lokasi penelitian (tabel 4.1.1(1)). Spesies dari genus tersebut, yang pernah ditemukan di Teluk Jakarta, yaitu *Chattonella subsalsa* dengan konsentrasi sel >12 sel/L dan belum tercatat memiliki dampak negatif pada tahun 1998 (Praseno *dkk.* 1999:436). *Chattonella* spp. dapat menyebabkan *red tide* pada saat *blooming*, terutama pada spesies *Chattonella antiqua*. Spesies tersebut dapat menyebabkan gangguan pernapasan pada biota laut karena dapat menyumbat insang. Salah satu kasus *blooming Chattonella antiqua* pernah terjadi di kawasan budidaya Teluk Seto, Jepang, pada tahun 1972, di mana kerugian mencapai lebih dari satu triliun rupiah (Wiadnyana 1996: 19).

*Gonyaulax polygramma* (gambar 4.1.1(1)) juga merupakan salah satu jenis penyebab *red tide*, yang umum ditemukan di perairan Jepang (Fukuyo *dkk.* 1990: 15). Spesies tersebut tercatat banyak ditemukan di Teluk Jakarta (Praseno *dkk.*

1999: 435; Praseno & Sugestiningih 2000: 47). *Gonyaulax polygramma* ditemukan melimpah pada bulan Mei (kepadatan 225—17.400 sel/L) (tabel 4.1.1(2)) dan Juli (kepadatan 388—11.830 sel/L) (tabel 4.1.1(3)) pada seluruh stasiun penelitian, sedangkan pada bulan Oktober kepadatan relatif berkurang (kepadatan 45—315 sel/L) (tabel 4.1.1(4)). Spesies tersebut berpotensi menyebabkan *red tide*, meskipun tidak bersifat toksik. Kejadian *red tide* berwarna merah kecokelatan oleh *G. polygramma* pernah terjadi di Teluk Jakarta pada November 1992 hingga Februari 1993 (kepadatan tertinggi 127.800 sel/L) dan mendominasi 95% dari komposisi fitoplankton pada waktu tersebut. Penurunan jumlah populasi *G. polygramma* akan terjadi pada bulan Desember, yaitu mencapai 360 sel/L (Adnan 1994: 170). Hal tersebut memperlihatkan kecenderungan kepadatan *G. polygramma* di kawasan Teluk Jakarta dapat melimpah sepanjang tahun dan menurun pada akhir tahun.



Gambar 4.1.1(1) Fitoplankton penyebab *red tide*, yang ditemukan di lokasi penelitian (a) *Chattonella* spp.; (b) *Gonyaulax polygramma*; dan (c) *Noctiluca miliaris*. [Mikrograf oleh: Mulyani (a, dan b); Widiarti (c), 2011.]

*Noctiluca miliaris* (gambar 4.1.1(1)) termasuk ke dalam kelompok plankton fagotrofik (dapat memangsa biota lain), bersifat allelopatik karena metabolit sekunder yang dihasilkan, dan dapat merubah warna perairan menjadi kehijauan. Spesies tersebut ditemukan hanya pada bulan Oktober dengan kepadatan berkisar 135—1.575 sel/L (tabel 4.1(5)) di seluruh stasiun penelitian. Jumlah tersebut perlu diwaspadai, karena menurut Praseno & Sugestiningih (2000: 51), *N. miliaris* akan mengalami *blooming* setelah terjadi hujan lebat di daratan atau saat terjadi eutrofikasi.



Tabel 4.1.1(1) Komposisi fitoplankton penyebab HAB di lokasi penelitian pada bulan Mei, Juli, dan Oktober 2011

Spesies	Stasiun									Stasiun																	
	Mei									Juli									Oktober								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Dinophyceae</b>																											
<i>Ceratium furca</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Dinophysis caudata</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gonyaulax polygramma</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gonyaulax spinifera</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gymnodinium catenatum</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Prorocentrum micans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Dinophysis acuminata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinophysis rotundata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Noctiluca miliaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Bacillariophyceae</b>																											
<i>Chaetoceros</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia</i> spp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Skeletonema costatum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Thalassiosira</i> spp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Raphidophyceae</b>																											
<i>Chattonella</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabel 4.1.1(2) Kepadatan fitoplankton penyebab HAB di lokasi penelitian pada bulan Mei 2011

Spesies	Stasiun Pengambilan Sampel									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Ceratium furca</i>	2250	405	1440	495	1368	1215	2430	1035	1980	12618
<i>Chaetoceros</i> spp.	165240	269730	155520	704700	1081350	145800	850500	1059480	690120	5122440
<i>Chattonella</i> sp.	1236	523	1789	411	194	377	528	143	67	5268
<i>Dinophysis caudata</i>	45	0	0	0	0	0	0	0	0	45
<i>Gonyaulax polygramma</i>	225	225	1440	2430	4560	17415	5670	225	1260	33450
<i>Gonyaulax spinifera</i>	0	45	0	0	57	135	180	90	180	687
<i>Gymnodinium catenatum</i>	0	0	1080	0	0	0	0	0	0	1080
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	0	0	765	45	0	0	45	0	0	855
<i>Nitzschia</i> spp.	16200	13500	139050	113670	87750	25650	21600	87750	128250	633420
<i>Prorocentrum micans</i>	90	90	1215	405	285	360	270	225	765	3705
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	0	0	135	45	0	135	45	0	0	360
<i>Skeletonema costatum</i>	5548500	19683000	8067600	11947500	11886750	1296000	7695000	13024800	12587400	91736550
<i>Thalassiosira</i> spp.	4050	0	3600	0	8100	9450	0	8100	0	33300
<b>Total</b>	<b>5737836</b>	<b>19967518</b>	<b>8373634</b>	<b>12769701</b>	<b>13070414</b>	<b>1496537</b>	<b>8576268</b>	<b>14181848</b>	<b>13410022</b>	<b>97583778</b>
<b>Rata-rata</b>										<b>7506444,46</b>

Tabel 4.1.1(3) Kepadatan fitoplankton penyebab HAB di lokasi penelitian pada bulan Juli 2011

Spesies	Stasiun Pengambilan Sampel									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Ceratium furca</i>	7178	3492	495	990	8777	900	9971	2295	5238	39336
<i>Chaetoceros</i> spp.	216795	71295	41850	14400	86430	14625	207870	52650	50925	756840
<i>Chattonella</i> sp.	291	485	810	1575	469	0	0	0	0	3630
<i>Dinophysis acuminata</i>	97	0	0	0	0	0	169	0	0	266
<i>Dinophysis caudata</i>	0	0	0	0	0	0	169	0	0	169
<i>Gonyaulax polygramma</i>	388	582	540	2025	4489	11700	11830	1350	4268	37172
<i>Gonyaulax spinifera</i>	194	97	0	45	670	0	507	0	97	1610
<i>Gymnodinium catenatum</i>	0	0	810	0	0	0	0	0	0	810
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	0	0	135	135	0	0	169	135	0	574
<i>Nitzschia</i> spp.	12125	5335	23850	19575	52260	675	7605	8775	6790	136990
<i>Prorocentrum micans</i>	388	776	990	810	67	45	1521	405	2522	7524
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	0	97	180	135	0	45	169	0	582	1208
<i>Skeletonema costatum</i>	2414718	2776140	1050975	729000	3210975	72900	7077213	4341195	2348370	24021486
<i>Thalassiosira</i> spp.	2619	4365	810	0	0	0	0	0	0	7794
<b>Total</b>	<b>2654793</b>	<b>2862664</b>	<b>1121445</b>	<b>768690</b>	<b>3364137</b>	<b>100890</b>	<b>7317193</b>	<b>4406805</b>	<b>2418792</b>	<b>25015409</b>
<b>Rata-rata</b>										<b>1786814,93</b>

Tabel 4.1.1(4) Kepadatan fitoplankton penyebab HAB di lokasi penelitian pada bulan Oktober 2011

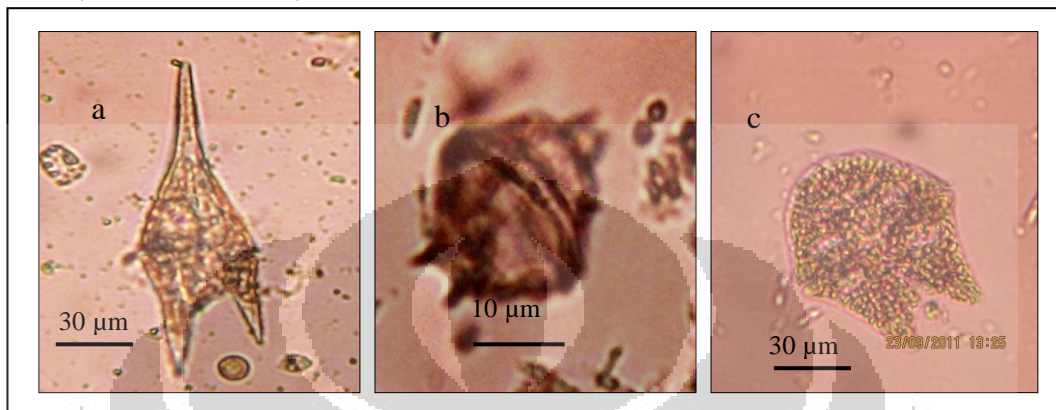
Spesies	Stasiun Pengambilan Sampel									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Ceratium furca</i>	27585	41664	44460	81056	39510	47700	43860	8364	4148	338347
<i>Chaetoceros</i> spp.	456300	565812	477900	396576	174960	272160	42432	94656	199104	2679900
<i>Chattonella</i> sp.	270	124	90	204	0	45	0	272	340	1345
<i>Dinophysis caudata</i>	0	124	0	0	45	0	136	0	0	305
<i>Dinophysis rotundata</i>	0	0	0	68	0	0	0	0	0	68
<i>Gonyaulax polygramma</i>	270	62	45	204	90	315	272	68	0	1326
<i>Gonyaulax spinifera</i>	90	186	0	0	0	45	272	68	204	865
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	180	1488	0	0	225	270	816	612	340	3931
<i>Nitzschia</i> spp.	51300	17856	19170	52632	69660	930960	108936	120768	59976	1431258
<i>Noctiluca scintillans</i>	1575	186	675	204	135	495	272	204	136	3882
<i>Prorocentrum micans</i>	45	496	630	1292	405	1350	2244	544	68	7074
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	0	62	0	340	0	0	0	68	0	470
<i>Skeletonema costatum</i>	4141800	5322080	3369600	437172	2631600	4089600	1921680	2464320	2616640	26994492
<i>Thalassiosira</i> spp.	75600	32640	13680	10880	39600	23040	16320	32640	14688	259088
	<b>4755015</b>	<b>5982780</b>	<b>3926250</b>	<b>980628</b>	<b>2956230</b>	<b>5365980</b>	<b>2137240</b>	<b>2722584</b>	<b>2895644</b>	<b>31722351</b>
<b>Rata-rata</b>										<b>4229646,8</b>

Ledakan populasi *N. miliaris* pernah terjadi di Teluk Jakarta, yaitu mencapai 2.135 sel/L pada bulan Mei 1976. Spesies tersebut dapat merugikan secara ekologis dan ekonomi meskipun tidak bersifat toksik. Kerugian ekologis yang ditimbulkan oleh ledakan *N. miliaris* adalah ketidakseimbangan ekosistem akibat sifat fagotropik spesies tersebut. Kerugian ekonomi dapat ditimbulkan karena kematian massal pada ikan budidaya. Hal tersebut dikarenakan ledakan *N. miliaris* dapat menambah konsentrasi amoniak pada perairan, sehingga terakumulasi pada sel-sel ikan (Ho 1996: 73). Masalah ledakan *N. miliaris* juga pernah terjadi pada tahun 1993 di Teluk Jakarta, yang merupakan fenomena setiap 9—10 tahun. Hal tersebut dapat mengindikasikan terjadinya eutrofikasi, akibat masukan zat hara dari daratan ke perairan, terutama pada daerah estuari atau muara (Praseno & Sugestiningasih 2000: 52).

*Ceratium furca* (gambar 4.1.1(2)) juga merupakan penyebab *red tide* dari kelompok Dinoflagellata, yang ditemukan di seluruh stasiun dan melimpah pada bulan Oktober (kepadatan 338.357 sel/L) dibandingkan pada bulan Mei dan Juli (tabel 4.1(5)). Spesies tersebut merupakan organisme heterotof yang mampu melakukan migrasi vertikal dari permukaan ke kolom air di bawahnya dan sebaliknya, dan bersifat kosmopolit (Okaichi 2003: 152; Tomas 1997: 154). Karakteristik yang dimiliki *C. furca* menyebabkan spesies tersebut mampu berkompetisi dengan spesies fitoplankton lain, terutama dalam hal ketersediaan nutrisi, cahaya matahari, dan faktor lingkungan lain. Hal tersebut menyebabkan *C. furca* sering ditemukan dalam jumlah melimpah dan mendominasi spesies lain. Oleh karena itu, *C. furca* lebih sering *blooming*, yang akan mengakibatkan kematian massal organisme laut karena dapat terjadi deplesi oksigen (anoksia dan hipoksia) pada perairan dan dapat memengaruhi kultur atau sumber daya lain (GEOHAB, 2001: 36).

Keberadaan spesies *Gonyaulax spinifera* (gambar 4.1.1(2)) juga terdapat pada bulan Mei, Juli, dan Oktober hampir di semua stasiun (tabel 4.1(2)). Kepadatan *Gonyaulax spinifera* berkisar 45—180 sel/L (bulan Mei) (tabel 4.1.1(3)), 45—670 sel/L (bulan Juli) (tabel 4.1.1(4)), dan 45—270 sel/L (bulan Oktober) (tabel 4.1.1(5)). Spesies tersebut tidak tercatat bersifat toksik, tetapi dapat mengakibatkan anoksia dan hipoksia. Kematian massal yang disebabkan

oleh *G. spinifera* pernah tercatat di perairan sebelah barat Sumatera Barat pada bulan Desember 1997, dengan kepadatan mencapai  $13,5 \times 10^6$  sel/L (Praseno *dkk.* 1999: 434). *Gonyaulax spinifera* dapat menyebabkan efek hepatotoksik, mengganggu osmoregulasi, dan efek haemolitik pada biota laut, terutama pada ikan (GEOHAB, 2001).



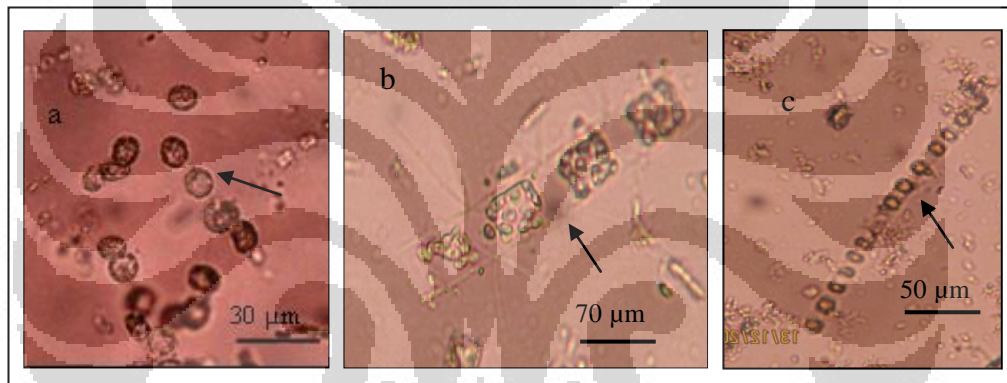
Gambar 4.1.1(2) Fitoplankton HAB kelas Dinophyceae, yang berbahaya bagi SDL: (a) *Ceratium furca*; (b) *Gonyaulax spinifera*; dan (c) *Gymnodinium sanguineum* [Mikrograf oleh: Mulyani, 2011]

*Gymnodinium sanguineum* (gambar 4.1.1(2)) umumnya menyebabkan *red tide* dan deplesi oksigen terhadap invertebrata dan ikan. *Gymnodinium sanguineum* sering ditemukan *blooming* bersamaan dengan *Ceratium furca*, yang dapat menyebabkan air berubah warna menjadi merah, bahkan berkaitan dengan kematian ikan (Hallegraeff, 1991: 16). Spesies tersebut ditemukan pada bulan Mei, Juli, dan Oktober (tabel 4.1(2)). Kepadatan *G. sanguineum* pada bulan Mei berkisar 45—765 sel/L (tabel 4.1.1(3)), bulan Juli 135—169 sel/L (tabel 4.1.1(4)) dan bulan Oktober 180—1488 sel/L (tabel 4.1.1(5)). Kepadatan relatif lebih tinggi pada bulan Oktober. Hal tersebut diikuti dengan kepadatan *C. furca* yang juga relatif tinggi pada bulan Oktober (4148—81.056 sel/L) (tabel 4.1.1(5)). Hal tersebut menunjukkan potensi *red tide* pada lokasi penelitian, yang perlu diwaspadai di masa mendatang, terutama pada musim peralihan II dan musim barat.

Spesies penyebab HAB yang ditemukan dari kelompok Bacillariophyceae (Diatom), yaitu *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*, dan *Thalassiosira* spp., (gambar 4.1.1(3)), juga ditemukan di lokasi penelitian pada ketiga bulan tersebut (tabel 4.1(2)). Kepadatan bervariasi pada ketiga bulan, di mana pada bulan

Oktober merupakan kepadatan tertinggi berkisar 13.600—78.600 sel/L (tabel 4.1.1(5)) dan ditemukan pada seluruh stasiun.

*Thalassiosira* spp. berpotensi HAB, yaitu terutama jenis *Thalassiosira mala*, yang pernah mengalami *blooming* pada bulan Maret 1998 di Teluk Jakarta, dengan kepadatan 55.000 sel/L. Kondisi yang ditemukan pada penelitian ini, harus diwaspadai karena pada bulan Oktober kepadatan bisa mencapai >55.000 sel/L dan kisaran konsentrasi maksimal spesies tersebut adalah 100.000 sel/L. Ledakan spesies tersebut dapat mengakibatkan keracunan asam domoik, apabila konsentrasi toksin melebihi batas toleransi >20 µg/gram berat daging kerang (Anderson *dkk.* 1992: 271). Kasus paling ekstrem yang pernah terjadi akibat *blooming Thalassiosira mala* adalah kematian massal bivalvia di Teluk Tokyo, Jepang pada bulan September 1951 (Praseno *dkk.* 1999: 436).



Gambar 4.1.1(3) Fitoplankton HAB kelas Bacillariophyceae, yang berbahaya bagi SDL: (a) *Thalassiosira* spp.; (b) *Chaetoceros* spp.; dan (c) *Skeletonema costatum* [Mikrograf oleh: (a,b) Mulyani, 2011 (c) Widiarti, 2010]

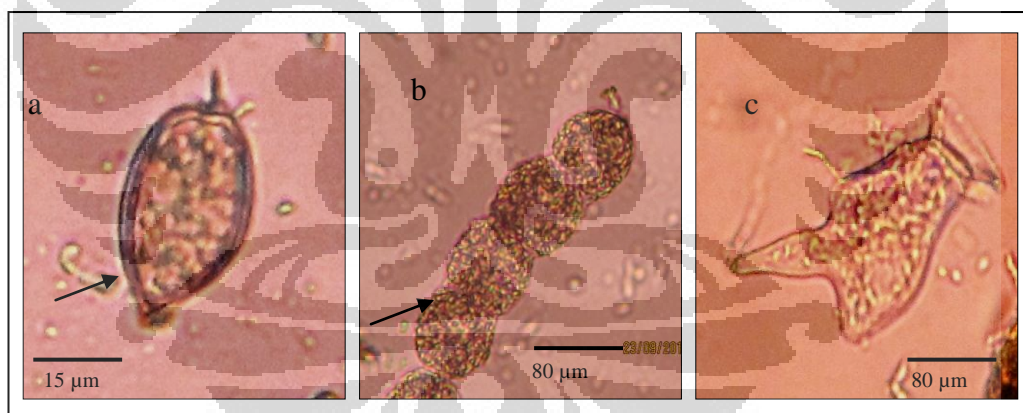
*Chaetoceros* spp. (gambar 4.1.1(3)) merupakan diatom yang paling dominan terdapat di perairan laut. Hasil penelitian memperlihatkan spesies tersebut mendominasi komposisi fitoplankton, yang terdapat di setiap stasiun pada setiap waktu pengambilan data. Hal tersebut terjadi karena tingkat adaptasi yang tinggi dilihat dari morfologi tubuh *Chaetoceros* spp., yang memiliki banyak seta bercabang, ukuran tubuh besar, dan hidup secara berkoloni. *Chaetoceros* spp. ditemukan berada pada kisaran total kepadatan 2-5 juta sel/L setiap bulan pengambilan sampel. Spesies tersebut berada di seluruh stasiun, dengan kepadatan total paling tinggi pada bulan Mei, yaitu 5.122.440 sel/L (tabel 4.1.1(3)). *Chaetoceros* spp. merupakan spesies HAB yang dapat menyebabkan

efek hemolitik dan menginfeksi biota, apabila konsentrasi sel lebih dari 5.000 sel/L (Hallegraeff 1991: 75).

*Skeletonema costatum* (gambar 4.1.1(3) juga mendominasi setiap stasiun di setiap bulan pengambilan sampel (kepadatan total 26—91 juta sel/L), tetapi pada bulan Mei paling melimpah pada seluruh stasiun. *Skeletonema costatum* berupa koloni sel yang membentuk struktur memanjang, sehingga dapat menyumbat alat pernapasan pada biota laut apabila menempel pada insang. *Chaetoceros* spp. dan *Skeletonema costatum* tidak menghasilkan toksin, melainkan dapat menimbulkan kerusakan mekanik pada alat pernapasan (insang) ikan atau biota lain.

#### 4.1.2. Kelompok HAB Penghasil Toksin

Spesies *toxin producer* yang ditemukan, antara lain: *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis rotundata*, *Dinophysis caudata*, *Gymnodinium catenatum*, *Nitzschia* spp., dan *Prorocentrum micans*.



Gambar 4.1.2(1) Fitoplankton penghasil toksin, yang ditemukan di lokasi penelitian (a) *Prorocentrum micans*; (b) *Gymnodiniumcatenatum*; dan (c) *Dinophysis caudata* [Mikrograf oleh: Mulyani, 2011.]

*Prorocentrum micans* (gambar 4.1.2(1)) ditemukan hampir di setiap stasiun penelitian, dengan kepadatan tertinggi pada bulan Juli dan Oktober (gambar 4.1.2(2)) (total 7.500 sel/L) (tabel 4.1(4) dan 4.1(5)). Apabila berada dalam kondisi *blooming*, *P. micans* dapat menyebabkan efek toksisitas DSP pada manusia dan juga dapat menyebabkan hipoksia maupun anoksia bagi biota



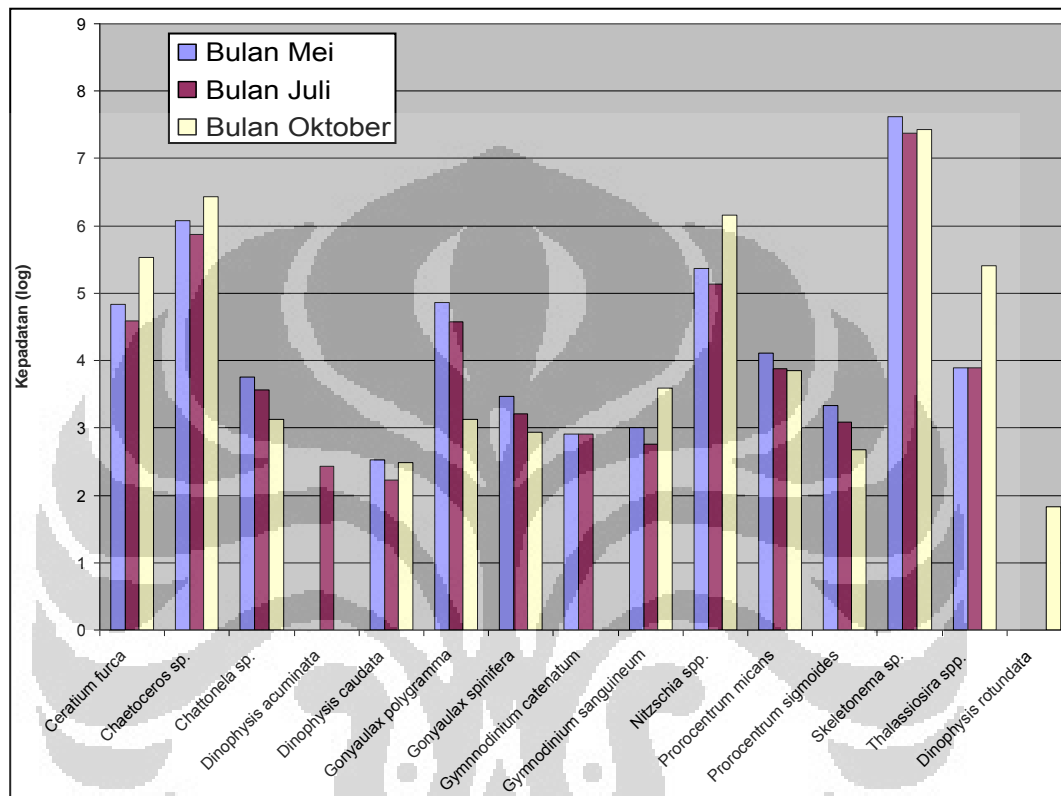
(GEOHAB 2001: 32). *Prorocentrum micans* juga dapat mengalami *blooming* bersamaan dengan *C. furca*. Ledakan populasi tersebut dapat menyebabkan kandungan oksigen di dalam air laut menurun ( $<0,5$  ml/L), contohnya yang telah terjadi di Afrika (Yoshida *dkk.* 1996: 206). Spesies lain dari marga tersebut, yaitu *Prorocentrum sigmoides*, yang diketahui berpotensi menyebabkan *red tide*, hipoksia, dan anoksia (GEOHAB 2001: 29). Keberadaan spesies tersebut umum di perairan Indonesia. Spesies tersebut ditemukan paling banyak pada bulan Juli dengan kepadatan total mencapai 1.000 sel/L (tabel 4.1.1(4)) dan terdapat di seluruh stasiun.

*Dinophysis acuminata* (ditemukan pada bulan Juli) dan *Dinophysis rotundata* (ditemukan pada bulan oktober) (tabel 4.1(2)), juga merupakan spesies penyebab HAB, yaitu penyebab *Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)*. Kedua spesies tersebut umum ditemukan di Teluk Jakarta dan Teluk Tunggal Jambi. Namun, belum pernah ada laporan kasus DSP oleh ledakan populasi kedua spesies tersebut di Indonesia (Praseno & Wiadnyana 1996: 21). *Dinophysis caudata* (gambar 4.1.2(1)) memiliki kepadatan relatif lebih kecil dibandingkan spesies lain yang ditemukan (kepadatan 45—169 sel/L) (gambar 4.1.2(2)). Laporan mengenai ledakan *D. caudata* pernah terjadi pada bulan Mei dan Agustus 1978 di Teluk Jakarta (Praseno 1980: 139). Hal tersebut terjadi di saat kandungan  $PO_4$  0,49—1,68 ppm dengan kepadatan 9.000—8500 sel/L (Praseno & Sugestiningasih 2000: 42).

*Gymnodinium catenatum*, yang dikenal sebagai penghasil *saxitoxin*, juga ditemukan di lokasi penelitian. Spesies tersebut termasuk ke dalam kelompok Dinophyceae, yang ditemukan dalam bentuk rantai (terdiri 4—8 sel) (gambar 4.1.2(1), dengan kepadatan masing-masing 1.080 (bulan Mei) (tabel 4.1(3)) dan 810 sel/L (Juli) (tabel 4.1(4)). Spesies tersebut merupakan penghasil toksin, yang dapat menimbulkan *Paralytic Shellfish Poisoning (PSP)* (Praseno 1996: 122; Praseno 2000: 48; Fraga 1996: 213). Gejala PSP akan timbul apabila kadar toksin melebihi batas toleransi 80  $\mu$ g/100 gram daging kerang yang dikonsumsi (Hallegraeff 1995: 12).

Keberadaan *G. catenatum* telah tercatat di Teluk Jakarta pada bulan November dan Desember 1996, serta bulan Maret 1998, dengan kepadatan  $<200$

sel/L dan tidak menimbulkan dampak negatif di perairan Teluk Bungus Sumatera Barat (Praseno *dkk.* 1999: 436; Praseno & Sugestiningsih 1999: 49) dan perairan Teluk Ambon (Sidabutar *dkk.* 1999: 439). Keberadaan *G. catenatum* diduga disebabkan oleh tingginya suhu perairan dan ketersediaan zat hara yang optimal (Fraga 1996: 215; Ellegaard *dkk.* 1996: 187).



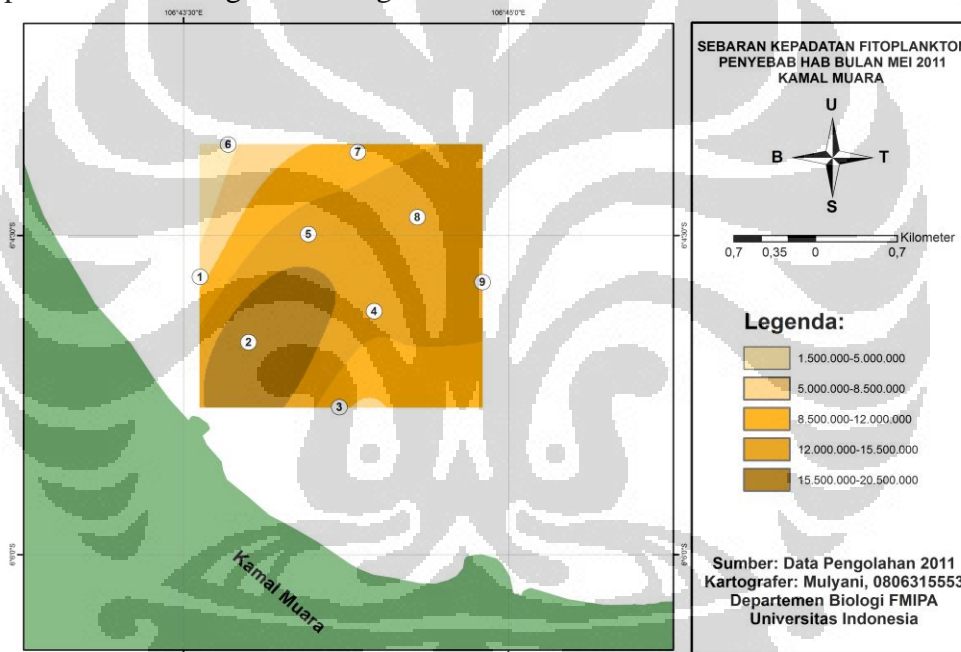
Gambar 4.1.2(2) Histogram kepadatan fitoplankton penyebab HAB yang ditemukan di lokasi penelitian

*Nitzschia* spp. merupakan spesies penyebab HAB dari kelompok Bacillariophyceae, yang secara umum sering ditemukan di Indonesia. Spesies dari genus tersebut yang berpotensi HAB yaitu *Nitzschia pungens*, yang secara historis belum pernah memperlihatkan dampak negatif HAB di Indonesia. Selama penelitian, spesies tersebut ditemukan banyak pada seluruh stasiun dengan kisaran kepadatan total tertinggi pada bulan Oktober (14.351.238 sel/L) (tabel 4.1(5)), kemudian bulan Mei (kepadatan 633.420 sel/L) (tabel 4.1(3)) dan Juli (kepadatan 136.990 sel/L) (tabel 4.1(4)). Spesies tersebut ditemukan dapat menyebabkan efek *Amnesic Shellfish Poisoning* (ASP). Ledakan spesies tersebut sering terjadi di perairan Kanada dan Australia (Hallegraeff 1999: 66).

### 4.1.3. Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB di Lokasi Penelitian

#### 4.1.3.1. Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB pada Bulan Mei

Peta sebaran spesies fitoplankton penyebab HAB pada bulan Mei (gambar 4.1.3.1) memperlihatkan kepadatan tertinggi tersebar di stasiun yang paling dekat dengan muara, kemudian berkurang semakin ke arah laut. Pola sebaran fitoplankton tersebut memperlihatkan kisaran kepadatan tertinggi lebih terkonsentrasi pada stasiun yang paling dekat dengan muara (stasiun 2), kemudian kepadatan berkurang secara diagonal.

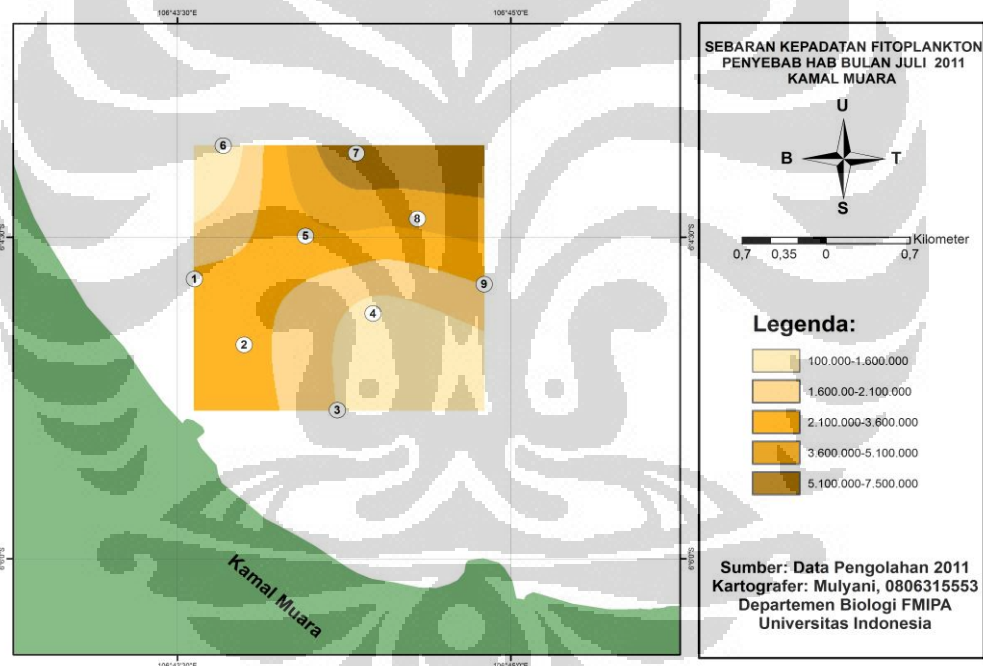


Gambar 4.1.3.1. Peta isoplank kepadatan fitoplankton HAB pada bulan Mei 2011 [Sumber: Data Pengolahan 2011.]

Bulan Mei memiliki kepadatan fitoplankton paling tinggi dibandingkan bulan Juli dan Oktober. Kepadatan fitoplankton tertinggi yaitu pada bulan Mei terutama di stasiun 2 (kepadatan 16.500.000—20.500.000 sel/L), yang diikuti stasiun 3, 4, 5, 7, 8 dan 9, dengan jumlah kepadatan 12.000.000—15.500.000 sel/L. Menurut Wickstead (1965: 76), fitoplankton sangat melimpah pada daerah dekat muara sungai. Hal tersebut sesuai dengan kondisi di mana kandungan zat hara cukup tinggi, karena muara sungai akan mendapat masukan nutrisi dari *run-off* dan akan mengalami penyuburan (Nontji 1993: 129).

#### 4.1.3.2. Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB pada Bulan Juli

Peta sebaran pada bulan Juli (gambar 4.1.3.2) memperlihatkan kepadatan tertinggi terjadi pada stasiun terluar (stasiun 7, 8, dan 9) dan sedikit berkurang di stasiun ke arah muara (stasiun 1, 2, dan 3). Hal tersebut diduga dipengaruhi oleh perubahan arah arus, di mana bulan Juli merupakan periode musim timur, sehingga terjadi pergerakan arus dari muara menuju ke perairan lepas. Perubahan arah arus dapat membawa *run off*, sehingga dapat terjadi penambahan *Total Organic Material* (TOM) pada perairan yang lebih jauh dari muara. Secara khusus, lokasi terletak di Teluk Jakarta telah mengalami penyuburan (Nontji 1993: 129). Kondisi tersebut memperlihatkan potensi *blooming* fitoplankton HAB pada bulan Juli akan terjadi pada stasiun terluar.

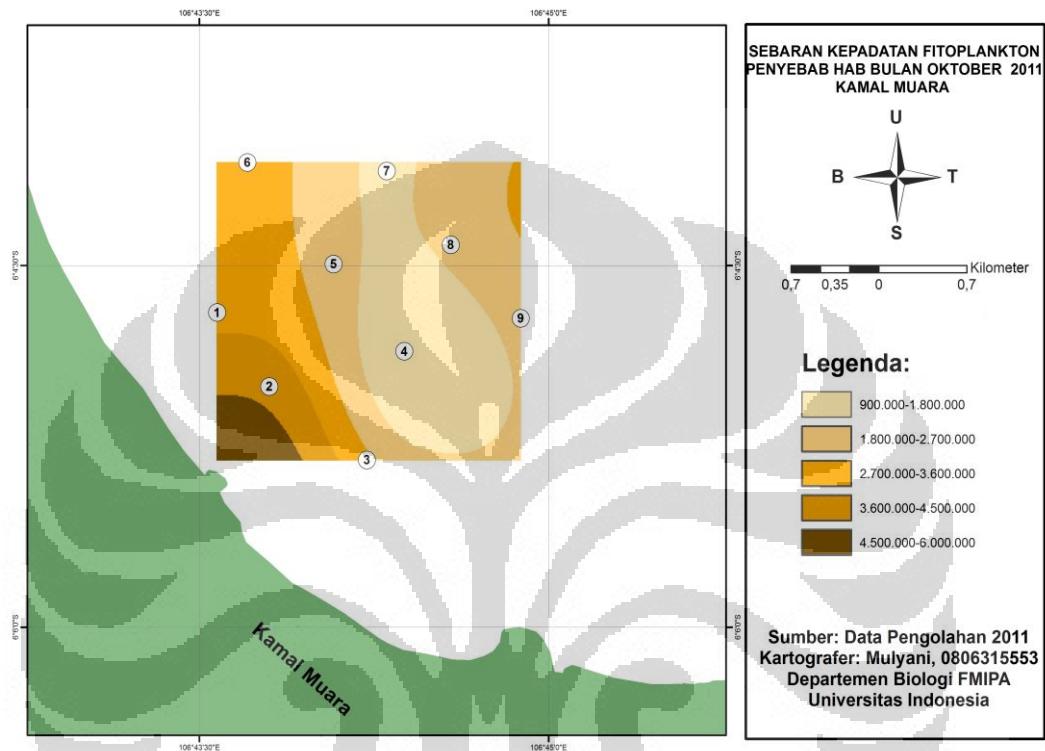


Gambar 4.1.3.2. Peta isoplank kepadatan fitoplankton HAB pada bulan Juli 2011  
[Sumber: Data Pengolahan 2011.]

#### 4.1.3.3. Peta Isoplank Sebaran Kepadatan Fitoplankton HAB pada Bulan Oktober

Peta sebaran pada bulan Oktober (gambar 4.1.3.3) memperlihatkan kepadatan semakin berkurang pada stasiun terluar, yang serupa dengan pola sebaran kepadatan pada bulan Mei. Hal tersebut dapat disebabkan oleh perubahan arus balik, di mana pada bulan Oktober arus bergerak dari laut menuju muara.

Hal tersebut dapat mendukung kehidupan fitoplankton secara optimal, terutama pada kelompok diatom yang ditemukan di lokasi penelitian (*Chaetoceros* spp., *Nitzschia* spp., dan *Skeletonema costatum*), sehingga kepadatan tertinggi terkonsentrasi pada stasiun dekat muara, yaitu berkisar 4.500.000—6.000.000 sel/L.



Gambar 4.1.3.3. Peta isoplank kepadatan fitoplankton HAB pada bulan Oktober 2011 [Sumber: Data Pengolahan 2011.]

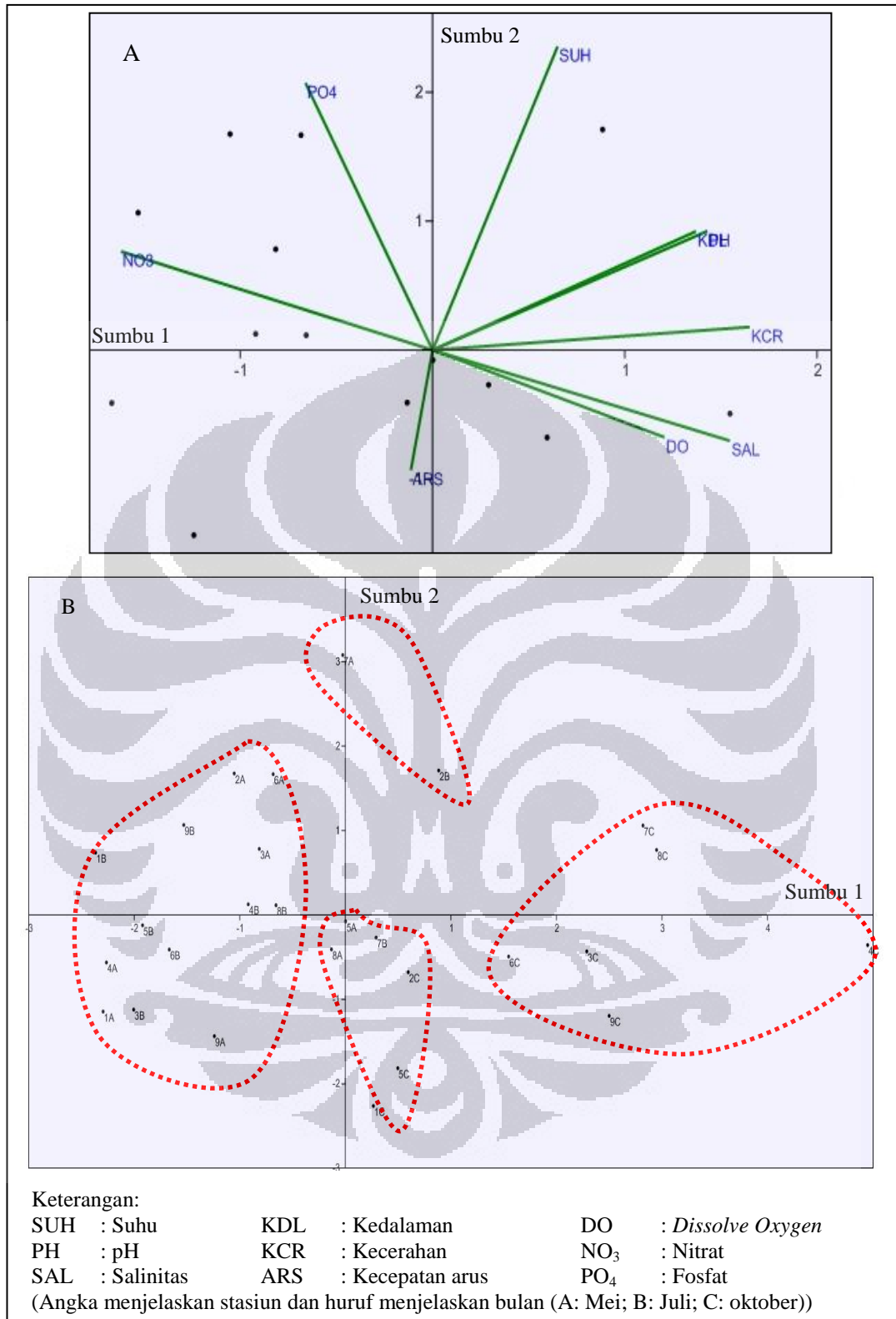
Kelompok diatom seperti *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*, dan *Thalassiosira* spp. mendominasi perairan. Spesies-spesies tersebut dapat mengakumulasi N dan tumbuh optimal pada konsentrasi N tinggi pada perairan. Sebaran kepadatan fitoplankton pada bulan Oktober lebih terkonsentrasi pada daerah muara, yaitu stasiun 1, 2, 3, 5, dan 6. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh adanya akumulasi material organik karena terletak di muara. Material organik dapat terbawa oleh arus dan dapat terkonsentrasi tinggi di suatu tempat, sehingga dapat menyebabkan eutrofikasi dan melimpahnya fitoplankton.

#### 4.2. SEBARAN PARAMETER LINGKUNGAN PERAIRAN BERDASARKAN HASIL ANALISIS KOMPONEN UTAMA (AKU)

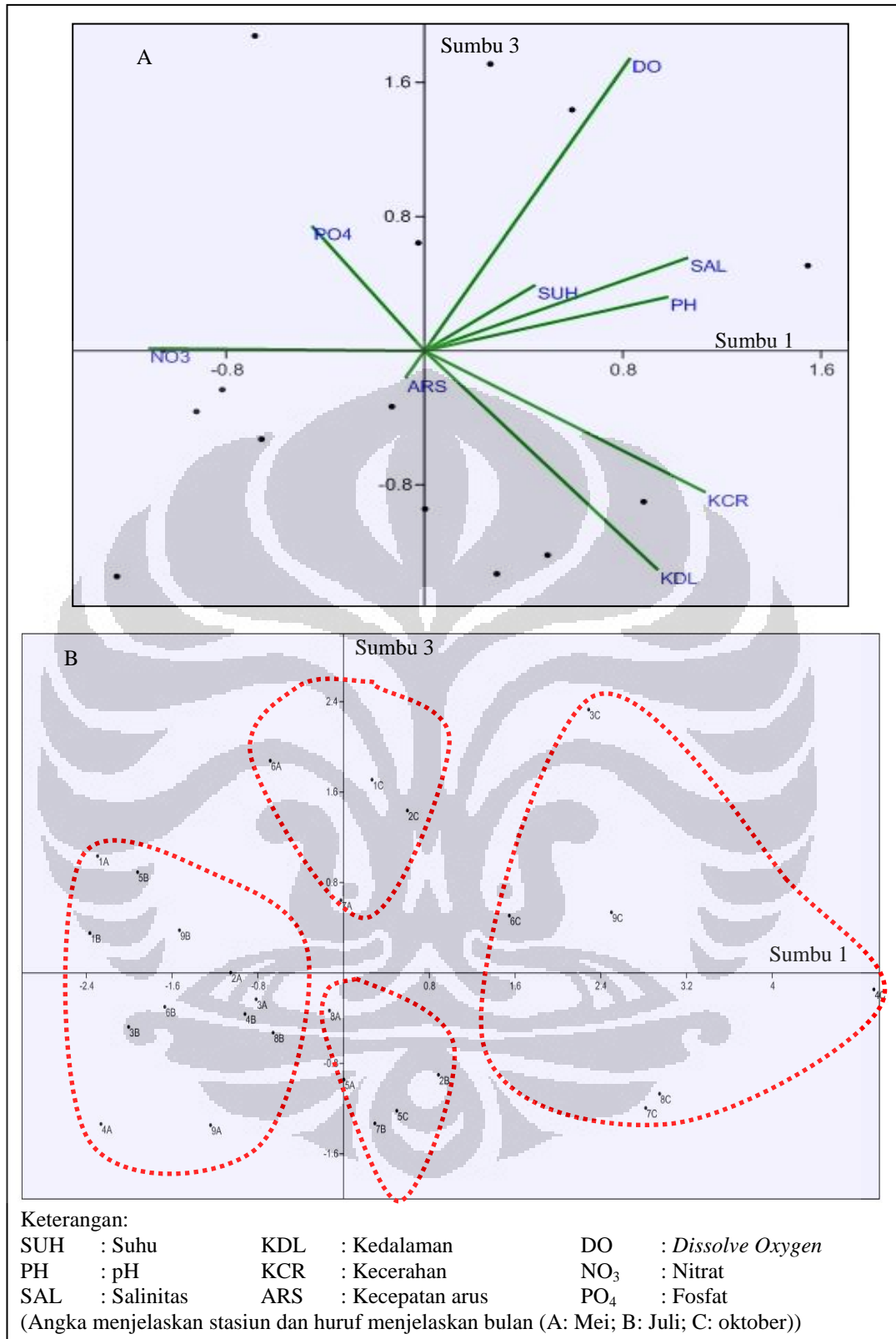
Kondisi lingkungan perairan secara spasial dan temporal dilihat dari hasil Analisis Komponen Utama (AKU). Matriks data yang diterjemahkan oleh AKU memperlihatkan sumbu komponen utama pertama sumbu 1-2 ( $F_1 \times F_2$ ) (gambar 4.2(1)) dan sumbu 1-3 ( $F_1 \times F_3$ ) (gambar 4.2(2)) sebagai sumbu faktorial dan menggambarkan ragam total terbesar. Total ragam tersebut sebesar 67,4%, dengan sumbu 1 mempresentasikan 38,4%, sumbu 2 mempresentasikan 16,5%, dan sumbu 3 mempresentasikan 12,5% dari gugus data.

Komponen utama pertama pada sumbu 1-2, yaitu sumbu 1 positif dibentuk oleh variabel salinitas, DO, kecerahan, kedalaman, dan derajat keasaman (pH) yang tinggi. Korelasi positif antara kelima variabel memiliki nilai  $r$  terbesar pada hubungan antara kedalaman dengan kecerahan ( $r=0,701$ ) (tabel 4.2(1)) dan antara salinitas dengan DO ( $r=0,647$ ) (tabel 4.2(1)). Hal tersebut diperkuat dengan penerjemahan grafik AKU sumbu 1-3 ( $F_1 \times F_3$ ) (gambar 4.2(2)), di mana komponen utama pertama dicirikan oleh kecerahan, salinitas, DO, dan derajat keasaman (pH) yang tinggi dan saling berkorelasi positif. Variabel-variabel tersebut memiliki nilai  $r$  paling besar antara salinitas dengan kecerahan ( $r=0,594$ ) (tabel 4.3(1)) dan antara pH dengan kecerahan ( $r=0,463$ ) (tabel 4.2(1)).

Berdasarkan hasil AKU sumbu 1-2 dan 1-3 (gambar 4.2(1) dan 4.2(2)), perairan pada bulan Oktober dicirikan oleh kecerahan, salinitas, DO, kedalaman, dan pH yang tinggi (tabel 4.2(2)), di mana kelima variabel tersebut berkorelasi negatif terhadap  $\text{NO}_3$ . Garis euklidian kelima variabel terlihat cenderung menjauhi sumbu O (0,0) (gambar 4.2(1)). Analisis diperkuat dengan komponen utama pertama sumbu 1 negatif (sumbu 1-2 dan 1-3), yang dibentuk oleh  $\text{NO}_3$  tinggi secara signifikan. Hal tersebut ditandai dengan garis euklidian cenderung menjauhi sumbu O (0,0) (nilai euklidian 0,809).



Gambar 4.2(1) Grafik Analisis Komponen Utama karakteristik parameter lingkungan pada sumbu 1-2 (F1 x F2). (A) Korelasi antar parameter lingkungan perairan (B) Sebaran waktu dan stasiun penelitian berdasarkan parameter lingkungan perairan.



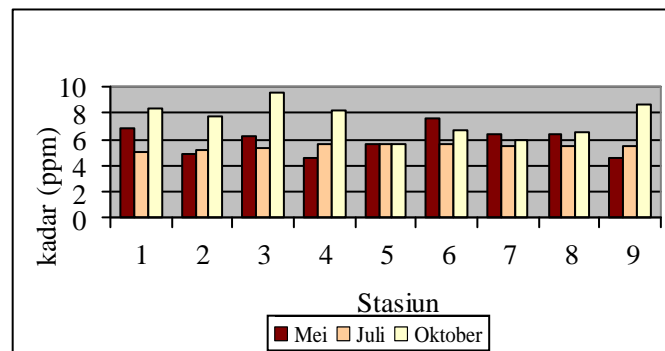
Gambar 4.2(2) Grafik Analisis Komponen Utama karakteristik parameter lingkungan perairan pada sumbu 1-3 (F1 x F3). (A) korelasi antar parameter lingkungan perairan (B) sebaran waktu dan stasiun penelitian berdasarkan parameter lingkungan perairan.



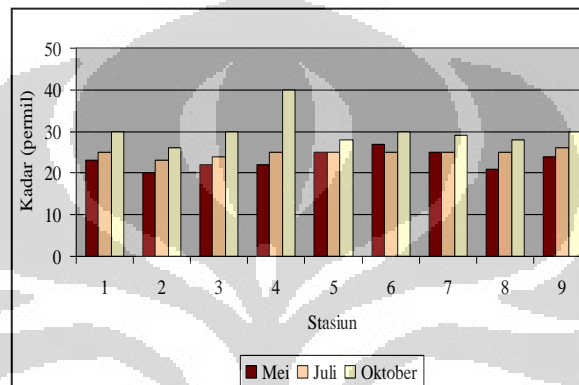


Tabel 4.2(2) Data parameter lingkungan di lokasi penelitian, Kamal Muara, Jakarta Utara pada bulan Mei, Juli, dan Oktober

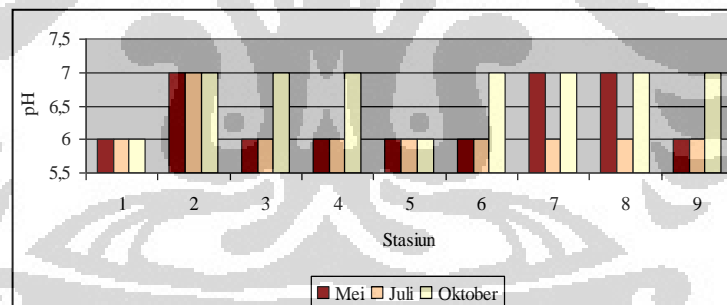
Bulan	Stasiun	Waktu (WIB)	Suhu (°C)	pH	Salinitas (‰)	Kedalaman (m)	Kecerahan (m)	Kec. Arus (m/det)	DO (ppm)	NO3 (ppm)	PO4 (ppm)	Cuaca
Mei	1A	09.13-09.23	30	6	23	3,1	0,9	0,07	6,9	2,28	0,13	Cerah
	2A	09.25-09.35	31	7	20	5,25	1,3	0,06	4,9	0,75	1,27	Cerah
	3A	09.38-09.48	31	6	22	6,3	2,3	0,05	6,2	1,13	0,81	Cerah
	4A	10.00-10.15	30,5	6	22	5,4	1,85	0,2	4,6	2,62	0	Cerah
	5A	10.17-10.27	31	6	25	7	2	0,04	5,7	0,64	0	Cerah
	6A	10.30-10.41	31,5	6	27	5	2,3	0,03	7,6	1,51	1,81	Cerah
	7A	10.43-10.54	32	7	25	7	2,5	0,04	6,4	2,06	1,66	Cerah
	8A	10.58-11.10	30	7	21	6,3	1,15	0,06	6,4	0,75	0	Cerah
	9A	11.15-11.30	30	6	24	5,25	2,25	0,2	4,6	1,02	0	Cerah
Juli	1B	09.23-09.35	31	6	25	5,2	0,42	0,3	5,1	1,89	1,8	Berawan
	2B	09.38-09.50	32	7	23	6,5	4,2	0,04	5,2	0,69	0,42	Berawan
	3B	10.00-10.15	29	6	24	5,3	0,7	0,07	5,3	1,53	0,51	Berawan
	4B	10.17-10.27	31	6	25	6,3	0,9	0,07	5,7	1,32	0,3	Berawan
	5B	10.30-10.41	31	6	25	3,3	0,4	0,05	5,7	1,46	0,46	Berawan
	6B	10.43-10.54	30	6	25	5	2,1	0,05	5,6	2,23	0,35	Berawan
	7B	10.58-11.10	31	6	25	6	5,5	0,15	5,5	0,91	0,23	Berawan
	8B	11.15-11.30	31	6	25	6,5	0,9	0,06	5,5	0,83	0,31	Berawan
	9B	11.39-12.05	32	6	26	5	0,75	0,06	5,5	2,13	0,52	Berawan
Oktober	1C	09.38-09.50	30	6	30	3,9	1,5	0,125	8,3	0,1	0,16	Cerah
	2C	10.00-10.15	31	7	26	4	2	0,115	7,7	0,56	0,07	Cerah
	3C	10.17-10.27	32	7	30	4,9	2,7	0,15	9,5	0,08	0,13	Cerah
	4C	10.30-10.41	31	7	40	9	7	0,086	8,2	0,06	0,15	Cerah
	5C	10.43-10.54	29	6	28	6,3	4,2	0,083	5,7	0,07	0,22	Cerah
	6C	10.58-11.10	31	7	30	5,5	2,7	0,115	6,7	0,08	0,15	Cerah
	7C	11.15-11.30	32	7	29	8,5	5	0,086	6	0,06	0,15	Cerah
	8C	11.33-11.45	32	7	28	8	6	0,12	6,5	0,1	0,07	Cerah
	9C	11.45-12.00	30	7	30	7,3	3,5	0,115	8,6	0,07	0,11	Cerah



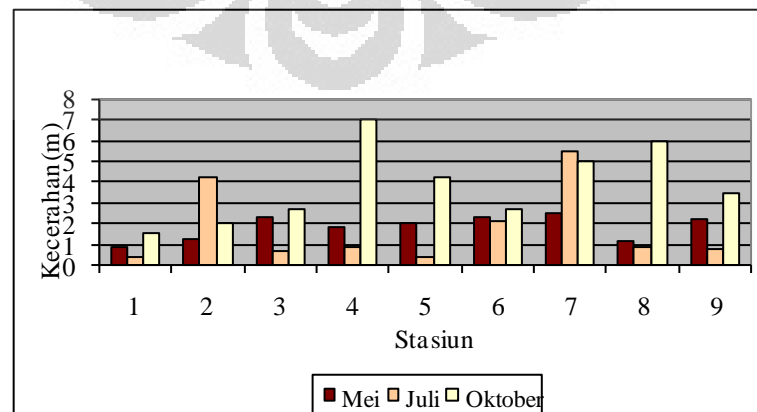
Gambar 4.2(3) DO (ppm) perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober



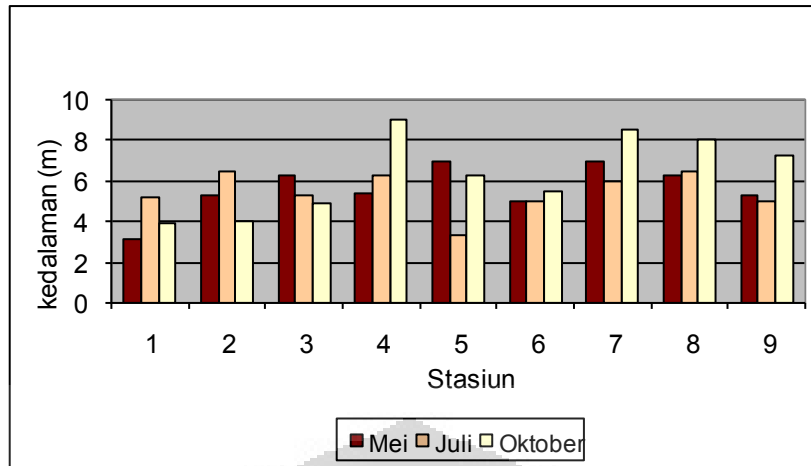
Gambar 4.2(4) Salinitas (%) perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober



Gambar 4.2(5) pH perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober

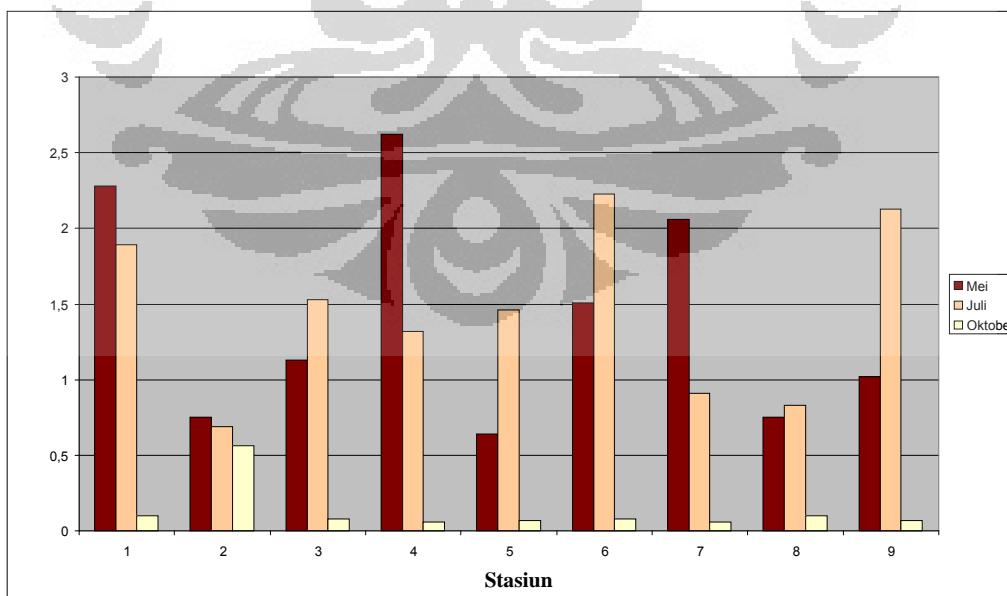


Gambar 4.2(6) Kecerahan (m) perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober



Gambar 4.2(7) Kedalaman (m) perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober

Berdasarkan grafik AKU variabel  $\text{NO}_3$  tinggi mencirikan perairan pada bulan Mei, terutama stasiun 1, 2, 3, 4, dan 9 (kode 1A, 2A, 3A, 4A, dan 9A) dan bulan Juli di hampir semua stasiun (kode 1B, 3B, 4B, 5B, 6B, 8B, dan 9B) (gambar 4.2(1) dan 4.2(2)). Hal tersebut juga terlihat pada histogram, di mana kadar  $\text{NO}_3$  pada hampir setiap stasiun di bulan Juli relatif lebih tinggi dibandingkan pada bulan Mei dan Oktober (gambar 4.2(8)). Kadar  $\text{NO}_3$  tinggi merupakan penciri bulan Juli, di mana kadar berkisar 0,83—2,23 ppm (tabel 4.2(2)) dengan rata-rata 1,2 ppm dan berada di atas ambang batas normal (0,008 ppm).

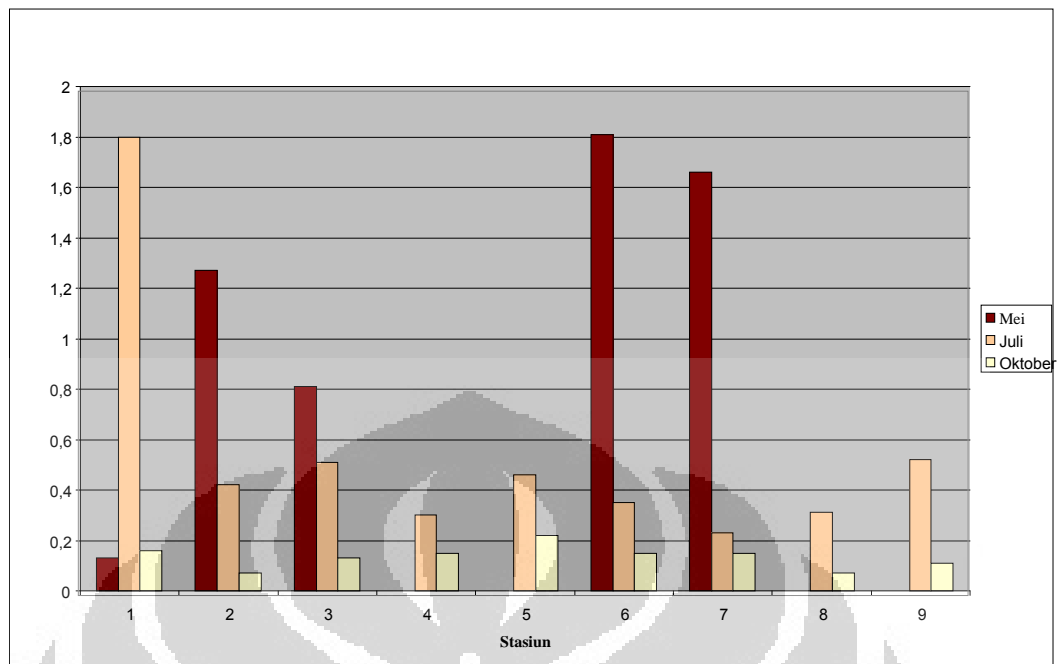


Gambar 4.2(8) Kadar  $\text{NO}_3$  (ppm) perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober

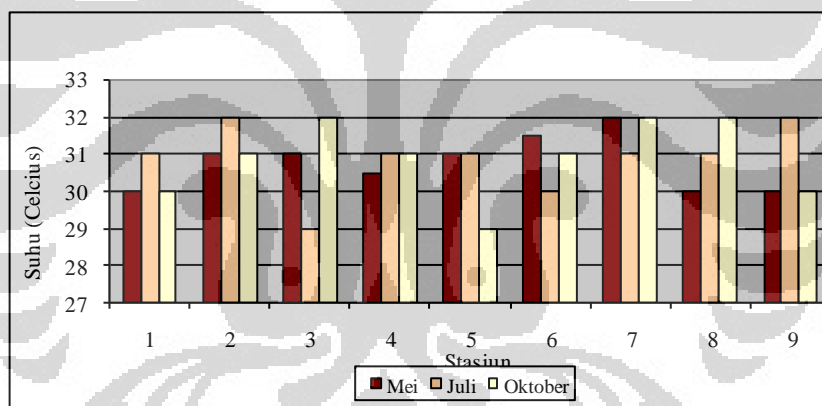
Tingginya kadar  $\text{NO}_3$  perairan pada bulan Juli disebabkan curah hujan yang cukup tinggi, beberapa hari sebelum pengambilan sampel. Curah hujan yang tinggi akan membawa nutrisi ( $\text{NO}_3$ ) ke dalam perairan, karena menurut Lalli & Parsons (2006: 56--58) kadar nutrisi di perairan estuari selain berasal dari perairan itu sendiri, juga berasal dari *run off*, yang tergantung pada proses erosi dan curah hujan.

Komponen utama kedua pada sumbu 1-2 dibentuk oleh variabel suhu dan  $\text{PO}_4$ , yang berkorelasi negatif dengan kecepatan arus (gambar 4.2(1)). Hal tersebut juga tergambar pada komponen utama ketiga pada sumbu 1-3 (gambar 4.2(2)). Garis euklidian menjauhi sumbu O (0,0), dengan nilai euklidian suhu dan  $\text{PO}_4$  terhadap sumbu masing-masing 0,694 dan 0,794. Variabel suhu berkorelasi positif dengan  $\text{PO}_4$ , meskipun nilai  $r$  sangat rendah (0,303)(tabel 4.2(1)). Artinya, kaitan antara suhu dan  $\text{PO}_4$  hanya 30% dan tidak signifikan. Korelasi antara suhu dan  $\text{PO}_4$  dengan kecepatan arus juga tidak signifikan, ditunjukkan dengan nilai  $r$  kecil, masing-masing 0,009 dan 0,074 (tabel 4.2(1)).

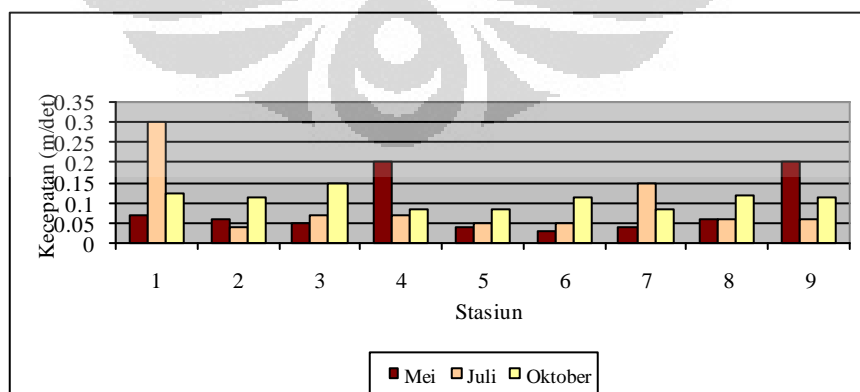
Suhu dan  $\text{PO}_4$  tinggi mencirikan stasiun 1 pada bulan Oktober (kode 1C); stasiun 2 pada bulan Juli dan Oktober (kode 2B dan 2C); stasiun 5 di bulan Mei dan Oktober (kode 5A dan 5C) (gambar 4.2(1) dan 4.2(2)). Arus air dapat mendistribusikan unsur hara yang berasal dari muara sungai menuju perairan yang lebih dalam (Nontji 1993: 129). Seluruh stasiun yang dicirikan oleh kadar  $\text{PO}_4$  tinggi, memiliki suhu relatif tinggi dengan kisaran 30--32°C (tabel 4.2(2)) di setiap bulan pengamatan dan kecepatan arus kecil (gambar 4.2(9), 4.2(10), dan 4.2(11)). Hal tersebut dikarenakan akumulasi nutrisi pada perairan dapat menyebabkan suhu meningkat. Kadar  $\text{PO}_4$  tinggi dapat terjadi karena nutrisi atau limbah anorganik dari domestik dan industri terbawa arus air dari muara menuju laut. Selain itu, kondisi hujan pada satu hari sebelum pengambilan sampel telah membawa nutrisi dari daratan, termasuk  $\text{PO}_4$ .



Gambar 4.2(9) Kadar fosfat (ppm) di perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober



Gambar 4.2(10) Suhu (°C) perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober



Gambar 4.2(11) Kecepatan arus (m/det) perairan pada Bulan Mei, Juli, dan Oktober

#### 4.3. SEBARAN FITOPLANKTON *HARMFUL ALGAL BLOOM* (HAB) DOMINAN SECARA SPASIOTEMPORAL PADA GRAFIK AFK DAN KAITANNYA DENGAN PARAMETER LINGKUNGAN

Hasil Analisis Faktorial Korespondensi memperlihatkan sebaran spesies fitoplankton dominan penyebab HAB secara spasiotemporal yang dikaitkan dengan analisis AKU. Matriks data yang diterjemahkan oleh AFK memperlihatkan sumbu komponen utama pertama pada sumbu 1-2 (gambar 4.3(1)) dan sumbu 1-3 (gambar 4.3(2)) sebagai sumbu faktorial dan menggambarkan ragam total terbesar. Total ragam tercatat sebesar 95,8%, dengan sumbu 1 mempresentasikan 78,94%, sumbu 2 mempresentasikan 9,54%, dan sumbu 3 mempresentasikan 7,32% dari gugus data. Data kepadatan fitoplankton penyebab HAB yang digunakan adalah kepadatan fitoplankton dominan penyebab HAB di seluruh stasiun, yaitu *Ceratium furca*, *Chaetoceros* spp., *Gonyaulax polygramma*, *Nitzschia* spp., *Prorocentrum micans*, *Skeletonema costatum*, dan *Thalassiosira* spp.

Grafik AFK pada sumbu 1-2 (F1 x F2) dan sumbu 1-3 (F1 x F3) (gambar 4.3(1) & 4.3(2)) memperlihatkan pengelompokan antar stasiun dan waktu pengamatan berdasarkan kepadatan fitoplankton dominan penyebab HAB. Sumbu utama pertama positif (gambar 4.3(1)) memperlihatkan bahwa spesies *Thalassiosira* spp. mengelompok dan mencirikan seluruh stasiun pada bulan Oktober (kode 1C, 2C, 3C, 4C, 5C, 6C, 7C, 8C, dan 9C); stasiun 1 pada bulan Mei dan Juli (kode 1A dan 1B); dan stasiun 2 pada bulan Juli (kode 2B).

Sebaran kepadatan *Thalassiosira* spp. mengelompok dan mencirikan seluruh stasiun di bulan Oktober yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (kecerahan, salinitas, DO, kedalaman, dan pH yang tinggi). Sebaran kepadatan spesies *Thalassiosira* spp. pada bulan Oktober lebih terkonsentrasi pada daerah muara, yaitu stasiun 1, 2, 3, 5, dan 6. Kondisi tersebut dapat menyebabkan adanya akumulasi material organik. Kepadatan *Thalassiosira* spp. di stasiun 1 pada bulan Mei dan Juli (kode 1B dan 1A), disebabkan oleh kadar  $\text{NO}_3$  tinggi dengan kecepatan arus yang juga relatif rendah. *Thalassiosira* spp. merupakan diatom yang adaptif, sehingga dapat bertahan hidup di daerah muara maupun laut

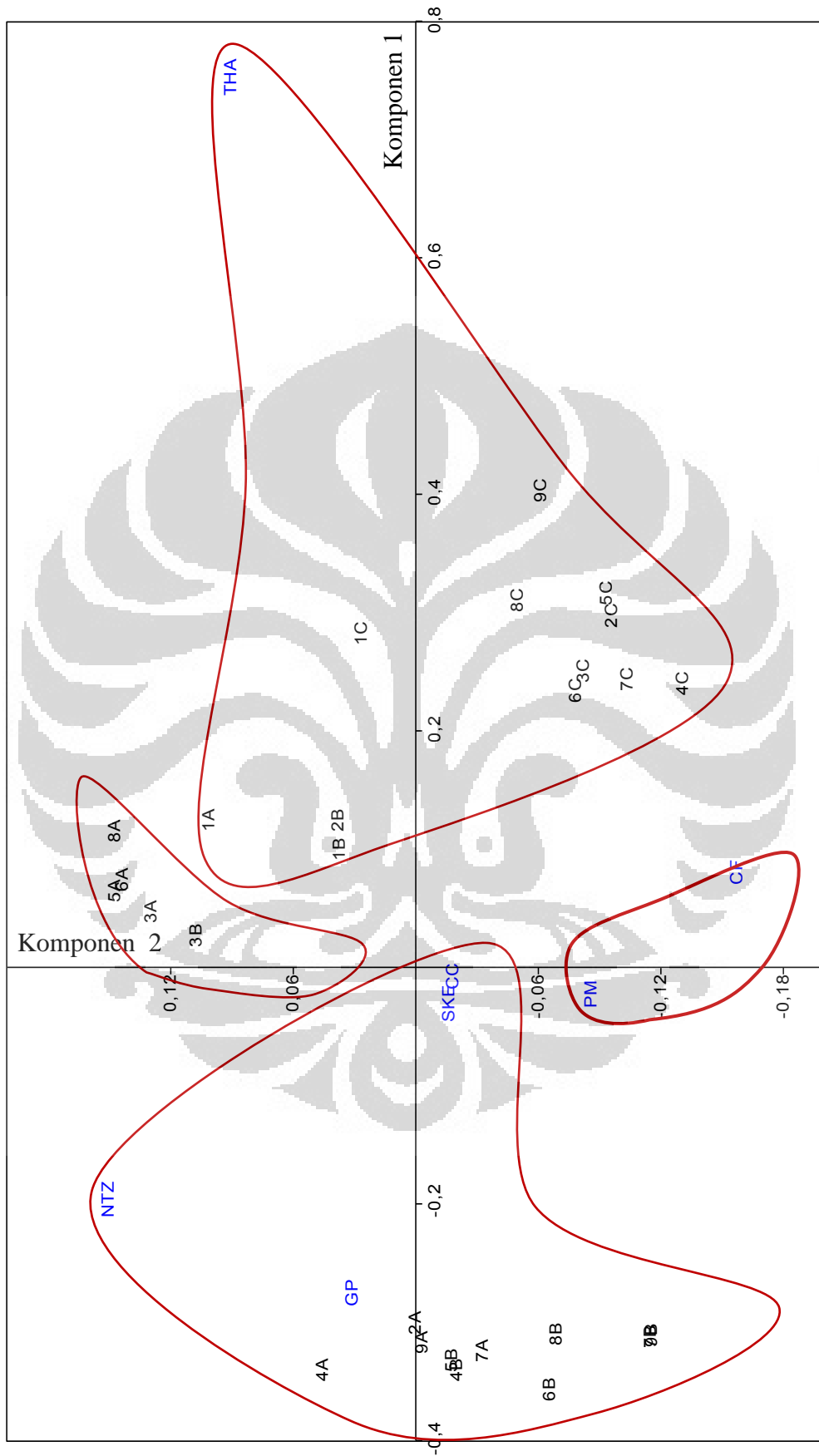
terbuka. Keberadaan spesies tersebut sangat dipengaruhi oleh akumulasi nutrisi seperti nitrogen, nitrat, fosfat, yang terdapat pada muara perairan semi tertutup. Selain itu, suplai nutrisi juga dapat berasal dari dalam perairan yang naik ke permukaan melalui sirkulasi vertikal perairan (Okaichi 2003: 38).

Grafik AFK sumbu 1-2 (gambar 4.3(1)) memperlihatkan bahwa pada komponen utama pertama negatif perairan dicirikan oleh *Chaetoceros* spp., *Gonyaulax polygramma*, *Nitzschia* spp., dan *Skeletonema costatum*. Keempat spesies tersebut mencirikan seluruh stasiun terluar pada bulan Juli (kode 4B, 5B, 6B, 7B, 8B, dan 9B) dan stasiun 2, 4, 7, dan 9 pada bulan Mei (kode 2A, 4A, 7A, dan 9A). Seluruh stasiun tersebut menunjukkan sebaran kepadatan tertinggi. Hal tersebut disebabkan oleh kadar  $\text{NO}_3$  tinggi dengan rata-rata 1,2 ppm dan berada di atas ambang batas normal (0,008 ppm), kecepatan arus rendah, dan kecerahan perairan relatif rendah, terutama stasiun 1, 3, 5, 8, dan 9. *Gonyaulax polygramma* dan *Nitzschia* spp. merupakan spesies neritik dan terdistribusi luas pada variasi regional perairan dan musim (Okaichi 2003: 244). Oleh karena itu, spesies-spesies tersebut ditemukan tersebar luas dan melimpah pada stasiun-stasiun pengamatan di waktu pengambilan bulan Mei dan Juli yang merupakan pencerminan Musim Peralihan I dan Musim Timur.

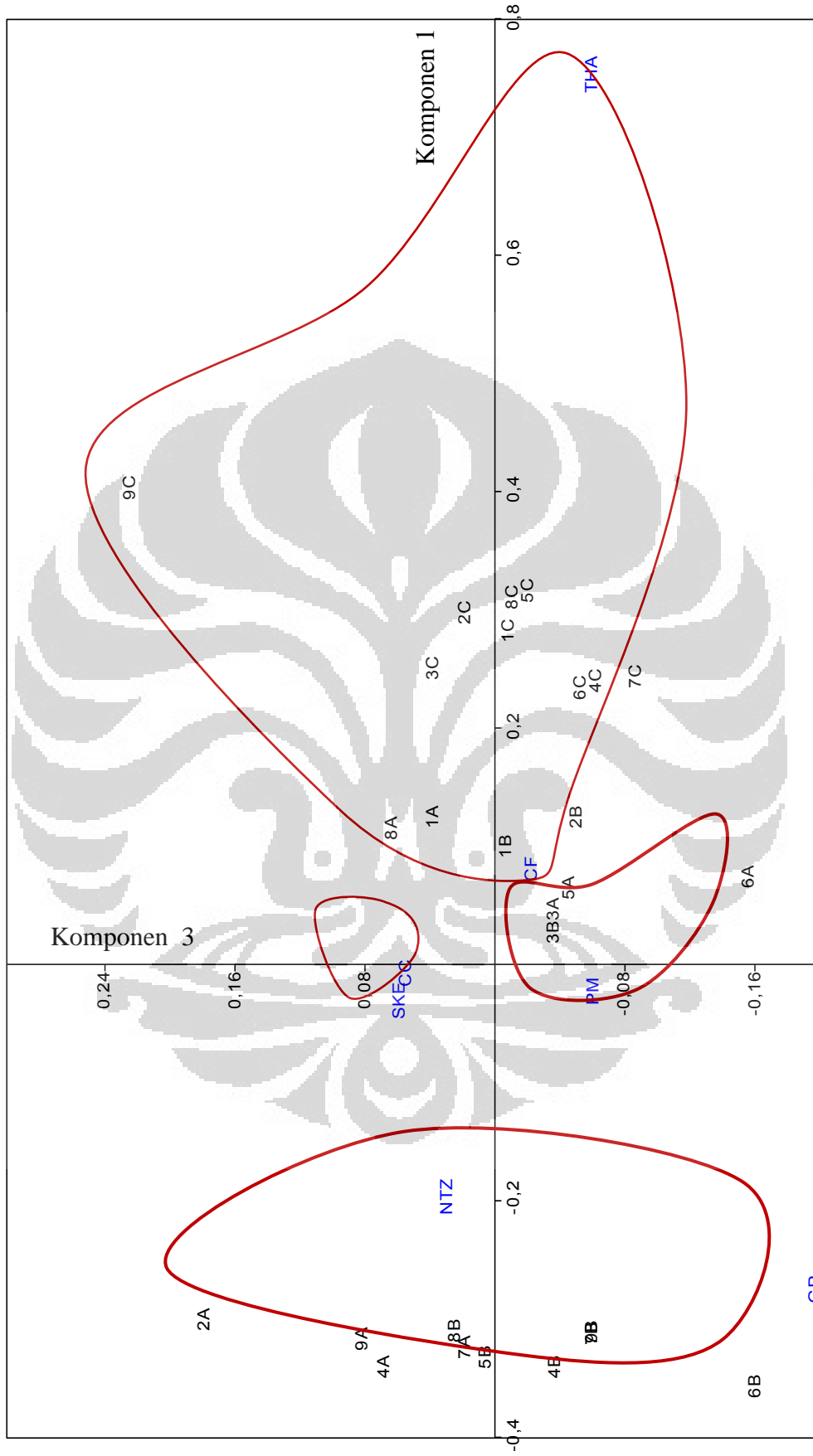
Grafik AFK sumbu 1-3 (gambar 4.3(2)) justru lebih memperlihatkan bahwa *Chaetoceros* spp. dan *Skeletonema costatum* mengelompok bersamaan tetapi tidak mencirikan stasiun suatu secara spasiotemporal. Hasil penelitian memperlihatkan *Chaetoceros* spp. mendominasi komposisi fitoplankton, yang ada di setiap stasiun pada setiap waktu pengambilan data. Hal tersebut terjadi karena tingkat adaptasi yang tinggi dilihat dari morfologi tubuh *Chaetoceros* spp. dengan seta bercabang dan hidup secara berkoloni membentuk rantai panjang. *Skeletonema costatum* juga mendominasi setiap stasiun di setiap bulan pengambilan sampel, karena memiliki kisaran faktor pertumbuhan yang luas. Menurut Okaichi (2003: 233) *Chaetoceros* spp. dan *Skeletonema costatum* tersebut dapat berlimpah bersamaan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem.

Grafik AFK sumbu 1-2 (gambar 4.3(1)) juga memperlihatkan bahwa pada komponen utama kedua negatif dicirikan oleh *Prorocentrum micans* dan





Gambar 4.3(1) Grafik AFK sebaran spasiotemporal fitoplankton dominan penyebab HAB di lokasi penelitian pada sumbu 1-2



Gambar 4.3(2) Grafik AFK sebaran sapsiotemporal fitoplankton dominan penyebab HAB di lokasi penelitian pada sumbu 1-3

*Ceratium furca* secara bersamaan dan tidak mencirikan suatu stasiun dan waktu pengamatan. Menurut Wiadnyana (1996: 123) *Prorocentrum micans* dapat mengalami *blooming* bersamaan dengan *C. furca*. Stasiun 3 di bulan Juli (kode 3B) dan empat stasiun di bulan Mei (kode 3A, 5A, 6A, dan 8A) juga mengelompok dan tidak dicirikan oleh suatu spesies.

Grafik AFK sumbu 1-3 (gambar 4.3(2)) menunjukkan bahwa *Prorocentrum micans* mencirikan stasiun 6 pada bulan Mei (kode 6A) dan stasiun 3 pada bulan Juli (kode 3B). Stasiun 3 pada bulan Juli memiliki kondisi perairan di mana kecerahan paling rendah dibandingkan stasiun lain, yaitu 0,7 m dari kedalaman 5,3 m; kecepatan arus rendah (0,07 m/det); perbandingan antara N: P adalah 3:1; dan suhu paling rendah (29°C) dibandingkan stasiun lain. Stasiun 6 pada bulan Mei memiliki kecepatan arus paling rendah (0,03 m/det) dibandingkan stasiun lain pada bulan yang sama. Kondisi tersebut mencirikan stasiun dekat dengan muara dan adanya akumulasi material organik, yang mampu mendukung kehidupan spesies tersebut. *Prorocentrum micans* memiliki sifat yang adaptif terhadap variasi faktor lingkungan dengan kisaran salinitas yang luas (eurihalin) sehingga dapat hidup pada muara sungai hingga perairan laut (Okaichi 2003: 41).

Grafik AFK sumbu 1-3 (gambar 4.3(2)) justru memperlihatkan *Ceratium furca* mencirikan perairan bersamaan dengan *Thalassiosira* spp. pada stasiun 1 dan 2 pada bulan Juli (kode 1B dan 2B) dan tiga stasiun pada bulan Mei (kode 3A, 5A, dan 8A). *Ceratium furca* dapat hidup meskipun dalam keadaan nutrisi sangat rendah karena spesies tersebut merupakan organisme heterotof, yang mampu melakukan migrasi vertikal dari permukaan ke kolom air di bawahnya, dan sebaliknya (Okaichi 2003: 152). *Ceratium furca* juga mampu berkompetisi dengan spesies fitoplankton lain, terutama dalam hal ketersediaan nutrisi, cahaya matahari, dan faktor lingkungan lain. Hal tersebut menyebabkan *C. furca* sering ditemukan dalam jumlah melimpah dan mendominasi spesies lain. *Ceratium furca* tidak menjadi penciri dari stasiun dan waktu tersebut. Hal tersebut dikarenakan faktor lingkungan yang memengaruhi sebaran dan sifat kosmopolit spesies tersebut (GEOHAB, 2001: 36 & Okaichi 2003: 47).

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

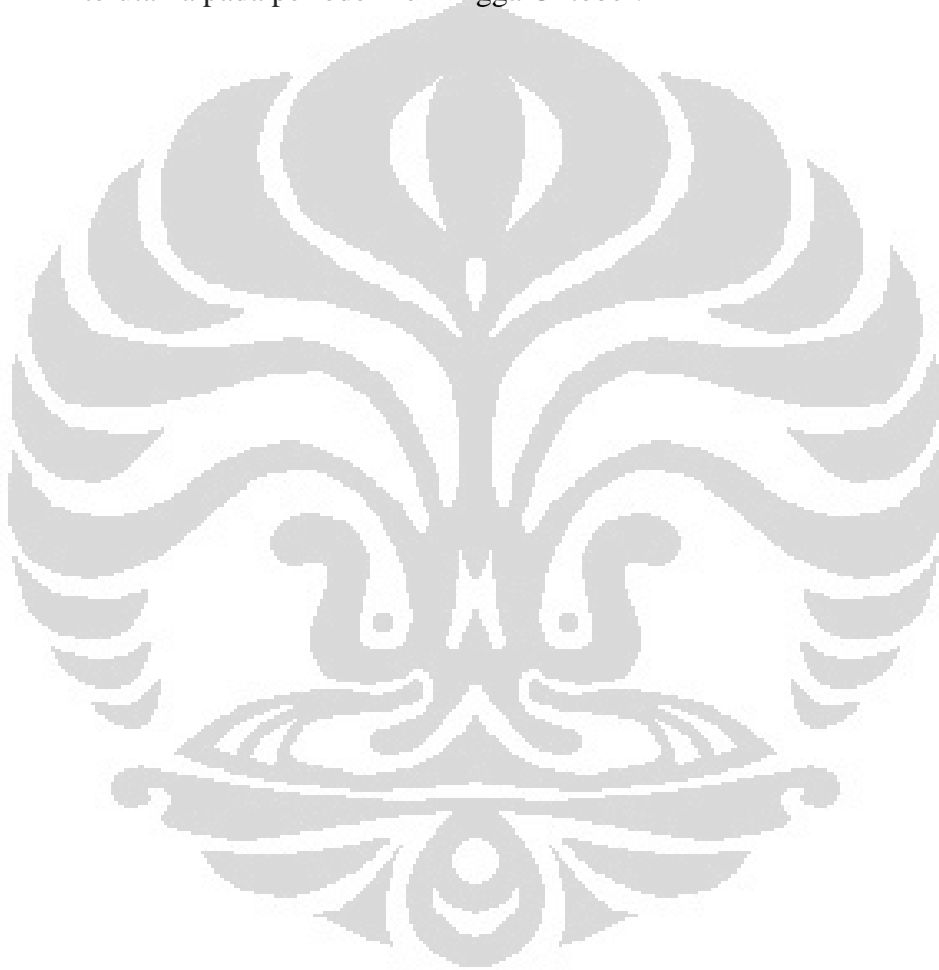
#### 5.1. KESIMPULAN

1. Telah ditemukan spesies fitoplankton dari kelas Dinophyceae (*Ceratium furca*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis caudata*, *Dinophysis rotundata*, *Gonyaulax polygramma*, *Gonyaulax spinifera*, *Gymnodinium catenatum*, *Gymnodinium sanguineum*, *Noctiluca miliaris*, *Prorocentrum micans*, dan *Prorocentrum sigmoides*); kelas Bacillariophyceae (*Chaetoceros* spp., *Nitzschia* spp., *Skeletonema costatum*, dan *Thalassiosira* spp.) dan kelas Raphidophyceae (*Chattonella* spp.) yang berpotensi menimbulkan *red tide* maupun penghasil toksin di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara pada bulan Mei, Juli, dan Oktober 2011.
2. Berdasarkan pola sebaran pada isoplank, spesies fitoplankton penyebab HAB di lokasi penelitian tersebar dengan kepadatan tertinggi di daerah muara (bulan Mei dan Oktober) dan kepadatan tertinggi di stasiun jauh dari muara (bulan Juli). Pola arus musiman dan nutrisi yang berasal dari *run off* berpengaruh pada sebaran spesies fitoplankton penyebab HAB yang ditemukan di lokasi penelitian.
3. Berdasarkan analisis AKU bulan Oktober dicirikan oleh kecerahan, kedalaman, pH, DO, dan salinitas tinggi, sedangkan pada bulan Mei dan Juli dicirikan oleh tingginya  $\text{NO}_3$ . Variabel suhu dan  $\text{PO}_4$  tinggi hanya mencirikan stasiun 1 (bulan Oktober); stasiun 2 (bulan Juli dan Oktober); dan stasiun 5 (bulan Mei dan Oktober).
4. Berdasarkan analisis plot AFK-AKU sebaran *Thalassiosira* spp. lebih dipengaruhi oleh kecerahan, kedalaman, pH, DO, dan salinitas tinggi; sebaran *Chaetoceros* spp., *Gonyaulax polygramma*, *Nitzschia* spp., dan *Skeletonema costatum* dipengaruhi oleh  $\text{NO}_3$  yang tinggi; dan *Prorocentrum micans* dan *Ceratium furca* bersifat kosmopolit dan tidak dipengaruhi oleh parameter lingkungan yang diukur.

## 5.2. SARAN

Saran yang dapat direkomendasikan sebagai berikut:

1. Diperlukan monitoring di lokasi budidaya kerang hijau Kamal Muara, Jakarta Utara untuk memprediksi kejadian *blooming*;
2. Diperlukan penelitian menggunakan parameter lingkungan lain; dan
3. Diperlukan uji toksisitas pada kerang hijau (*Perna viridis*) secara berkala, terutama pada periode Mei hingga Oktober.



## DAFTAR REFERENSI

- Adnan, Q. 1994. Tiga tahun kejadian *Red Tide* di Teluk Jakarta. *Dalam:* Setiapermana, D., Sulistijo, H.P. Hutagalung (eds.). *Prosiding seminar pemantauan pencemaran laut 7—9 Februari 1994*. **2**(3):109—119 hlm.
- Adnan, Q., H. Thoha, N. Fitriya & B. Santoso. 2009. *Dampak pemanasan global terhadap kondisi plankton di perairan Teluk Jakarta*. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta: v + 40 hlm.
- Anderson, D., P. Andersen, V.M. Bricelj, J.J. Cullen, & J.E. Jack Rensel. 2001. *Monitoring and management strategies for harmful algae blooms in coastal waters*. APEC-IOCT, Singapura: ii +268.
- Arinardi, O. H., A. B. Sutomo, S. A. Yusuf, Trimaningsih, E. Asnaryanti & S. H. Riyono. 1997. *Kisaran kelimpahan dan komposisi plankton dominan di perairan kawasan timur Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta: iv + 137 hlm.
- Bengen, D.G. 1998. *Analisis statistik multivariabel/multidimensi*. PKSPL, Bogor: xi + 50 hlm.
- Bates, S.S. 1992. Ecophysiology and Biosynthesis of Polyether Marine Biotoxins. *Dalam:* Anderson, D.M., A.D. Cembella, & G.M. Hallegraeff (eds.). *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. **41**(4):405—407.
- Boney, D. D. 1975. *Phytoplankton*. The Phitman Press, London: vii + 116 hlm.
- Brower, J.E., J.H. Zar & C.N. Von Ende. 1990. *Field and laboratory methods for general ecology*. W.M.C. Brown Co. Publisher, Dubuque: xi + 237 hlm.
- Burhan, H. A. L., F. Hubies, Hamidah & Nurtiati. 1994. *Pola distribusi fosfor terlarut (othofosfat) sebagai penentu produktifitas fitoplankton perarain pantai timur, Surabaya*. Lembaga Penelitian Universitas Airlangga, Surabaya: ii + 30 hlm.
- Canon, J.A. 1996. Competition between the dinoflagellates *Alexandrium minutum* and *Prorocentrum micans* in the Port River, South Australia. *Dalam:* T. Yasumoto, Y. Oshima, and Fukuyo (eds.). *Harmful and toxic algal blooms Proc.7th.Int.Conf.Toxic Phytoplankton, Japan, 12—16 July*. **2**(39): 381—384.

- Cole, G.A. 1994. *Textbook of limnology*. 4th ed. Waveland Press, Inc. Illinois: xii + 412 hlm.
- Dawes, C.J. 1981. *Marine botany*. John-Wiley & Sons, New York: x+ 628 hlm.
- Dinas Peternakan, Perikanan, dan Kelautan (DPPK) Provinsi DKI Jakarta. 2006. *Kajian Eksistensi Budidaya Kerang Hijau di Teluk Jakarta*. Penerbit CV. Srikandi Utama Konsultan , Jakarta: viii+115 hlm.
- Dods, A.N. 2002. Reverse filtration. *Dalam: A. Sournia (ed.). Phytoplankton manual: Monographs on oceanographic methodology*, UNESCO. **3**(12): 104—112.
- Effendi, H. 2003. *Telaah uji kualitas air: Bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta: 258 hlm.
- Fachrul, M.F & J.N. Syach. 2006. *The effect of water quality disturbances on phytoplankton communities in Jakarta Bay, Indonesia*. **(3)2**: 1--5.
- Farmer, J.N. 1980. *The protozoa: Introduction to protozoology*. The CV. Mosby Company. London: vii+ 733 hlm.
- Fraga, S. 1996. *Wintering of *Gymnodinium catenatum* Graham (Dinophyceae) in Iberian waters*. *Dalam: T. Yasumoto, Y. Oshima, and Fukuyo (eds.). Harmful and toxic algal blooms Proc.7th.Int.Conf.Toxic Phytoplankton, Sendai, Japan, 12—16 July 1995*. **2**(41): 211—214.
- Fujioka, S. 1990. *Illustrations of the plankton of Kuroshio waters*. Tokyo Publishing Company, Tokyo: v + 170 hlm.
- Fukuyo, Y., & V.M, Borja. 1991. *Marine dinoflagellates in the Philippines*. Asian Natural Science Centre, Tokyo: vi+ 34 hlm.
- GEOHAB. 2001. *Global ecology and oceanography of harmful algal blooms science plan*. SCOR & IOC, Paris: v+84.
- Goldman, C.R. & A.J. Horne. 1983. *Limnology*. McGraw-Hill Book Company, New York: xvi + 640 hlm.
- Graham, L. E. & L. W. Wilcox. 2000. *Algae*. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River: xvi + 640 hlm.
- Greenberg, A.E., L.S. Clesceri & A.D. Eaton. 1992. *Standard methods for examination of water and wastewater*. Ed. ke-8. American Public Health Association Environment Federation, Washington DC: xxxi + I-44 hlm.

- Hallegraeff, G.M. 1991. *Aquaculturists guide to harmful Australian microalgae. Fishing Industry Training Board of Tasmania*, Tasmania: vii+111 hlm.
- Hays, G. C., A. J. Richardson, & C. Robinson. 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology and Evolution* **20**(6): 337--344.
- Hoek, C. Van Den., D.G. Mann & H.M. Jahns. 1995. *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge University Press., Cambridge: xiv + 627 hlm.
- Horner, R.A.; J.R Rensel. 1990. Noxious phytoplankton blooms in western Washington waters: A review. *Dalam: Graneli, E., B. Sundstrom, & D.M. Anderson (eds.). Toxic marine phytoplankton*. **4**(13):171—176.
- Jeffries, M. & D. Mills. 1990. *Freshwater ecology principles and application*. 2nd ed. Bethaven Press, London: vi + 285 hlm.
- Kendeigh, S. C. 1975. *Ecology: With special reference to animals and man*. Prentice-Hall of India, New Delhi: iv + 474 hlm.
- Lalli, C. M. & P. R. Parsons. 2007. *Biological oceanographic: An introduction*. Elsevier Oxford University, Oxford: xi + 307 hlm.
- Legendre, L. & P. Legendre. 1983. *Numerical ecology*. Elsevier scientific publishing company. New York: xxi + 224 hlm.
- Ludwig, J.A. & J.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology: primer on methods and computing*. John Wiley & Sons Publishing, Singapore: x + 87 hlm.
- MacKinnon, D.L. & R.S.J. Hawes. 1961. *An introduction to the study of Protozoa*. Oxford University Press Ely House, London: xvii+733 hlm.
- Mukai, T. 1987. Effect of surrounding physical and chemical environment on the spatial heterogeneity in phytoplankton communities of Hiroshima Bay, Japan. *Jurnal of Coastal Research* **3**(3): 269--279.
- Nontji A., & O.H Arinardi. 1975. Hidrologi dan diatom plankton di Laut Jawa. *Oseanologi di Indonesia*. **1**(4): 21—36.
- Nontji, A. 1993. *Laut nusantara*. Penerbit Djambatan, Jakarta: viii + 367 hlm.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi laut: Suatu pendekatan ekologis*. Terj. dari *Marine biology: An ecological approach*, oleh Eidman, M., Koesbiono, D.G. Bengen, M. hutomo & S. Sukardjo. PT Gramedia, Jakarta: xv + 459 hlm.
- Nybakken, J. W. 2001. *Marine biology: An ecological approach*. 5th ed. Addison Wesley Longman, Inc., San Francisco: xi + 516 hlm.



- Okaichi, T. 2003. *Red tides*. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo: xvi+439 hlm.
- Parsons, T. R., M. Takahashi & B. Hargrave. 1977. *Biological oceanographic processes*. Ed.ke-2. Pergamon Press, Oxford: xi + 332 hlm.
- Praseno, D. P. & W. Kastoro. 1979. *Evaluasi hasil pemantauan kondisi perairan Teluk Jakarta tahun 1975-1979*. Lembaga Oseanografi Nasional Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta: x + 8 hlm.
- Praseno, D.P. 1995. A study on HAB organisms in Indonesian waters. *Dalam: Proceedings of the International Seminar on Marine Fisheries Environment, EMDEC & JICA, Tokyo*. 3(24): 119--126.
- Praseno, D.P & N.N Wiadnyana. 1996. HAB organisms in Indonesian waters. Canadian Workshop on Harmful Algae, EMDEC & JICA. *Dalam: Proceedings of the International Seminar on Harmful Algal Blooms*. 2(32): 69—75.
- Praseno, D.P. 1996. Study on HAB organism in Indonesian Waters. *Dalam: Proceedings of the international seminar on marine fisheries environment*. 1(1): 119—126.
- Praseno, D.P, Sugestiningih, & E. Asnaryanti. 1997. Laporan tentang kondisi plankton perairan Teluk Bayur dan Teluk Bungus, Desember 1996. Laporan Kelautan dan Perikanan. DKP. Jakarta: 5 hlm.
- Praseno. D.P. 2000. *Retaid di perairan Indonesia*. LIPI, Jakarta: v+82 hlm.
- Praseno, D.P., Y. Fukuyo, R. Widiarti, Badrudin, Y. Efendi & S.S. Pain. 1999. The HAB/Red Tide blooms in Indonesian waters 1997/1998. *Dalam : Watson, I, G. Vigers, K-S Ong, C. Mcpherson, N. Millson, A. Tang, & D. Gass (eds.). 1999. Proceedings of the fourth ASEAN-Canada technical conference on marine sciences, Johor : 432--437.*
- Raymont, J.E.G. 1980. *Plankton and productivity in the oceans*. Ed.ke-2. Pergamon Press, New York: xiv+489 hlm.
- Reynolds, C. S. 2006. *Ecology on phytoplankton*. Cambridge University Press, New York: xii + 535 hlm.
- Richard, M. 1987. *Atlas du phytoplankton marine: Diatomophyceae*. Ed.ke-2. National De La Recherche, Paris: iv+285.

- Sachlan, M. 1982. *Planktonologi*. Fakultas peternakan dan perikanan. Universitas Diponegoro., Semarang: 117 + 30 hlm.
- Salmin, 2005. Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan. *Oseana* **30**(3): 21--26.
- Scholin, C.A. 1996. Development of nucleic acid probe based diagnostics for identifying and enumerating harmful algal bloom species. *Dalam: Anderson, D.M., A.D. Cembella, & G.M. Hallegraeff (eds). Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms.* **41**(3): 337—350.
- Sediadi, A. 1999. Ekologi Dinoflagellata. *Oseana*, Jakarta. **24**(4): 21—30.
- Smayda, T.J. 1997. What is a bloom? A commentary. *Dalam: Andersen, D.M. & D.J. Garrison (eds.). The ecology and oceanography or harmful algal blooms.* **42**(5): 1132—1136.
- Smith, D.B. 1977. *A Guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae*. Kendall/Hun Publishing, California: xix+161 hlm.
- Sumadhiharga, K. 1977. Bencana air merah yang mematikan banyak ikan di Teluk Kau, Halmahera. *Lonawarta* **3**(2)10—17.
- Suthers, I. M. & D. Rissik. 2009. *Plankton: A guide to their ecology and monitoring for water quality*. CSIRO Publishing, Collingwood: xv + 273 hlm.
- Tait, R.V. 1981. *Elements of marine ecology*. Ed.ke-3. Butterworths Ltd., London: x+ 356 hlm.
- Taylor, F.J.R, Y. Fukuyo & J. Larsen. 1995. Taxonomy of harmful Dinoflagellates. *Dalam: Hallegraeff, G.M., D.M. Andersen & A.D. Cambella (eds.). 1995. Manual on harmful marine microalgae: IOC Manuals and guides.* UNESCO Paris. **4**(33): 283—317.
- Tindall, D.R. & S.L, Morton. 1992. Community dynamics and physiology of epiphytic/benthic dinoflagellates associated with Ciguatera. *Dalam: Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms.* **41**(4):293—314.
- Tomas, C.R. 1997. *Marine plankton identification*. Academic Press, London: xv + 875 hlm.

- Usup, G. & R.V, Azanza. 1992. Physiology and dynamics of the tropical dinoflagellate *Pyrodinium bahamense*. *Dalam: Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. **41**(4): 81—94.
- Wardhana, W. 1986. Analisis kandungan plankton hasil pelayaran LON-LIPI pada awal dan akhir upwelling, tahun 1970 di Laut Banda dan tahun 1971 di Laut Seram. Skripsi S1 Departemen Biologi FMIPA UI, Depok: xiii+92 hlm.
- Wiadyana, N.N. 1996. Mikroalga berbahaya di perairan Indonesia. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 29 : 15--28.
- Wickstead, J. H. 1965. *An introduction to the study of tropical plankton*. Hutchinson Tropical Monograph, London: x + 160 hlm.
- Widiarti, R., R.F., Kaswadji, & H. M. Eidman. 2003. Succession pattern of red tide causing organism, *Pyrodinium bahamense* Plate, in Hurun Bay, South Lampung. *Dalam: Sustainable Fisheries in Asia in The New Millennium: JSPS-DGHE International Symposium*. **4**(21): 43—29.
- Widiarti, R., Mulyani, & J. Sarahgiat. 2011. Deteksi keberadaan spesies Dinoflagellata penyebab HAB di lokasi budidaya kerang hijau (*Perna viridis*), Kamal Muara, Jakarta Utara. *Dalam: Prosiding Seminar Nasional Tahunan VIII Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan tahun 2011, Yogyakarta*. **2**(14): 3-13.
- Wright, J.C.L & A.D., Cambella. 1996. Ecophysiology and biosynthesis of polyeter marine biotoxins. *Dalam: Anderson, D.M., A.D. Cembella, & G.M. Hallegraeff (eds.). Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms* **41**(4): 427—452.
- Yamaji, I. 1986. *Illustrations of the marine plankton of Japan*. Ed.ke-3. Hoikusha Publ., Co., Ltd., Osaka: xx + 537 hlm.
- Yuliana. 2007. Struktur komunitas dan kelimpahan fitoplankton dalam kaitannya dengan parameter fisika-kimia perairan di danau Laguna Ternate, Maluku Utara. *Jurnal Protein* **14**(1): 85--92.

Lampiran 1. Varians Analisis Komponen Utama Data Parameter Lingkungan, Uji Korelasi, dan Persentase Nilai Eigenvalue pada sumbu AKU

Communalities			Component Matrix <sup>a</sup>				
	Initial	Extraction	Component				
			1	2	3	4	
SUHU	1.000	.749	.271	.794	.152	.146	
PH	1.000	.608	.709	.289	.116	-.091	
SALINITAS	1.000	.738	.774	-.191	.239	.213	
KDL	1.000	.849	.682	.294	-.544	-.014	
KCR	1.000	.818	.823	.078	-.344	.125	
KEC	1.000	.947	-.087	-.235	-.069	.938	
DO	1.000	.929	.605	-.188	.726	-.028	
NO3	1.000	.730	-.809	.261	.004	.083	
PO4	1.000	.716	-.335	.694	.285	.201	

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
a. 4 components extracted.

Total Variance Explained						
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3.459	38.435	38.435	3.459	38.435	38.435
2	1.484	16.492	54.927	1.484	16.492	54.927
3	1.122	12.462	67.389	1.122	12.462	67.389
4	1.018	11.308	78.697	1.018	11.308	78.697
5	.693	7.705	86.402			
6	.524	5.820	92.222			
7	.306	3.398	95.620			
8	.236	2.622	98.242			
9	.158	1.758	100.000			

Correlations										
		SUHU	PH	SALINITAS	KDL	KCR	KEC	DO	NO3	PO4
SUHU	Pearson Correlation	1	.364*	.100	.248	.234	-.074	.106	-.001	.303
	Sig. (1-tailed)		.031	.311	.106	.120	.357	.300	.497	.062
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
PH	Pearson Correlation	.364*	1	.303	.439*	.463**	-.103	.420*	-.539**	-.087
	Sig. (1-tailed)	.031		.062	.011	.008	.304	.015	.002	.333
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
SALINITAS	Pearson Correlation	.100	.303	1	.403*	.594**	.058	.647**	-.544**	-.211
	Sig. (1-tailed)	.311	.062		.019	.001	.387	.000	.002	.145
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
KDL	Pearson Correlation	.248	.439*	.403*	1	.701**	-.120	.017	-.439*	-.100
	Sig. (1-tailed)	.106	.011	.019		.000	.275	.467	.011	.309
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
KCR	Pearson Correlation	.234	.463**	.594**	.701**	1	.000	.255	-.561**	-.261
	Sig. (1-tailed)	.120	.008	.001	.000		.498	.099	.001	.094
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
KEC	Pearson Correlation	-.074	-.103	.058	-.120	.000	1	-.086	.043	-.009
	Sig. (1-tailed)	.357	.304	.387	.275	.498		.335	.416	.482
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
DO	Pearson Correlation	.106	.420*	.647**	.017	.255	-.086	1	-.479**	-.134
	Sig. (1-tailed)	.300	.015	.000	.467	.099	.335		.006	.253
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
NO3	Pearson Correlation	-.001	-.539**	-.544**	-.439*	-.561**	.043	-.479**	1	.393*
	Sig. (1-tailed)	.497	.002	.002	.011	.001	.416	.006		.021
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
PO4	Pearson Correlation	.303	-.087	-.211	-.100	-.261	-.009	-.134	.393*	1
	Sig. (1-tailed)	.062	.333	.145	.309	.094	.482	.253	.021	
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Lampiran 2. Analisis Faktorial Korespondensi Data Sebaran Fitoplankton  
Penyebab HAB dengan Stasiun dan Waktu Pengamatan

Aksis	Sumbu 1	Sumbu 2	Sumbu 3	Sumbu 4	Sumbu 5	Sumbu 6
1A	0,113	0,106	0,044	-0,035	-0,025	-0,018
2A	-0,312	0,005	0,185	-0,024	0,040	-0,032
3A	0,035	0,135	-0,030	0,065	-0,016	-0,007
4A	-0,352	0,050	0,075	0,014	0,032	0,019
5A	0,053	0,152	-0,039	-0,029	0,025	0,006
6A	0,063	0,148	-0,150	-0,027	0,025	0,000
7A	-0,336	-0,028	0,025	-0,049	0,031	0,021
8A	0,104	0,152	0,069	0,005	0,003	0,016
9A	-0,329	0,002	0,088	0,039	-0,010	0,030
1B	0,089	0,042	-0,001	0,005	-0,032	0,017
2B	0,113	0,043	-0,044	0,040	-0,002	-0,018
3B	0,016	0,112	-0,030	0,095	0,003	0,002
4B	-0,352	-0,016	-0,031	0,080	-0,031	-0,008
5B	-0,344	-0,013	0,012	-0,093	-0,089	-0,006
6B	-0,368	-0,061	-0,154	-0,143	0,037	-0,004
7B	-0,324	-0,110	-0,054	0,009	0,014	-0,005
8B	-0,321	-0,064	0,030	0,017	-0,010	-0,028
9B	-0,322	-0,111	-0,053	0,072	-0,002	-0,005
1C	0,270	0,031	-0,003	-0,117	-0,027	-0,006
2C	0,286	-0,091	0,025	-0,018	0,019	0,002
3C	0,239	-0,078	0,044	0,009	-0,018	0,023
4C	0,228	-0,126	-0,056	0,007	-0,002	0,058
5C	0,304	-0,089	-0,014	-0,022	0,006	-0,013
6C	0,222	-0,074	-0,046	0,014	0,005	-0,002
7C	0,231	-0,099	-0,081	0,054	-0,012	-0,025
8C	0,298	-0,045	-0,005	0,021	0,029	-0,026
9C	0,391	-0,057	0,231	-0,010	0,009	-0,006
CF	0,068	-0,153	-0,017	-0,033	-0,046	0,005
CC	-0,020	-0,014	0,061	-0,034	0,028	0,028
GP	-0,288	0,036	-0,191	-0,052	0,017	-0,006
NTZ	-0,213	0,155	0,035	0,027	-0,038	0,009
PM	-0,036	-0,081	-0,054	0,147	0,015	0,008
SKE	-0,048	-0,011	0,064	-0,004	0,011	-0,030
THA	0,735	0,095	-0,054	-0,002	0,002	-0,002

Keterangan:

CF : *Ceratium furca*

CC : *Chaetoceros* spp.

GP : *Gonyaulax polygramma*

NTZ : *Nitzschia* spp.

PM : *Prorocentrum micans*

SKE : *Skeletonema costatum*

THA : *Thalassiosira* spp.

Lampiran 3. Analisis Komponen Utama Data Parameter Lingkungan dan  
Persentase Nilai Euginvalue pada sumbu AKU-AFK

Stasiun	Sb.1	Sb. 2	Sb. 3	Sb. 4	Sb. 5	Sb. 6	Sb. 7	Sb. 8	Sb. 9
4A	-2,50	-0,51	-0,96	1,36	-0,69	-0,19	1,20	0,17	0,35
5A	-0,16	-0,28	-1,10	-0,93	0,14	-0,54	-0,39	-0,74	0,38
6A	-0,84	2,06	1,56	-0,67	1,50	-0,07	-0,58	0,50	0,45
7A	-0,19	3,17	0,03	-0,35	0,35	1,10	0,31	0,16	-0,02
8A	-0,22	-0,68	-0,56	-1,22	-1,14	1,55	0,06	-0,17	0,23
9A	-1,47	-1,52	-0,70	1,30	-0,43	-0,11	-0,18	0,06	-0,19
1B	-2,67	1,09	1,14	3,18	0,25	0,70	-0,48	-0,55	-0,23
2B	0,68	1,36	-1,34	-0,62	-1,05	0,08	-0,54	0,63	-0,30
3B	-2,09	-1,16	-0,29	-0,68	0,88	0,93	0,14	0,01	-0,21
4B	-1,07	0,10	-0,46	-0,55	0,13	-0,35	0,07	-0,78	0,21
5B	-2,03	-0,01	0,79	-1,10	-0,23	-0,79	-0,08	0,25	-0,55
6B	-1,78	-0,31	-0,36	-0,75	0,71	-0,06	0,91	0,61	0,01
7B	0,01	-0,31	-1,01	1,13	0,09	-0,78	-0,41	0,98	0,51
8B	-0,81	-0,02	-0,61	-0,69	0,14	-0,33	-0,44	-0,94	0,07
9B	-1,69	1,22	0,10	-0,57	-0,11	-1,17	0,59	-0,36	-0,20
1C	0,15	-1,84	2,12	-0,25	0,37	-0,49	-0,35	-0,06	0,15
2C	0,47	-0,49	1,41	-0,44	-1,45	0,19	0,15	0,50	-0,18
3C	2,11	0,03	2,31	0,19	-1,29	-0,44	0,13	-0,08	0,44
4C	4,75	-0,01	-0,07	0,67	1,81	-0,34	0,95	-0,15	-0,37
5C	0,34	-1,94	-0,77	-0,07	1,42	0,34	-0,74	0,48	-0,18
6C	1,39	-0,43	0,62	0,04	-0,63	0,08	-0,11	-0,09	-0,89
7C	2,58	0,84	-1,37	0,29	-0,33	-0,16	-0,28	-0,38	-0,18
8C	2,68	0,63	-1,14	0,74	-0,64	-0,25	-0,25	0,21	0,23
9C	2,37	-1,00	0,65	-0,01	0,21	1,10	0,33	-0,27	0,46

Nilai Euginvalue pada sumbu AFK

Komponen	Eigenvalue	Varians
1	0,0668	78,50
2	0,0081	9,55
3	0,0062	7,32
4	0,0028	3,34
5	0,0007	0,83
6	0,0004	0,46

Nilai Euginvalue pada sumbu AKU

Stasiun	Eigenvalue	Varians
1	3,57	39,62
2	1,44	16,00
3	1,19	13,20
4	1,00	11,10
5	0,74	8,24
6	0,44	4,91
7	0,26	2,92
8	0,23	2,61
9	0,13	1,40

Lampiran 4. Data spesies plankton yang ditemukan di lokasi penelitian

<b>Kelas Dinophyceae</b>	<b>Kelas Bacillariophyceae</b>
<i>Ceratium furca</i>	<i>Chaetoceros spp.</i>
<i>Ceratium fusus</i>	<i>Navicula sp.</i>
<i>Ceratium trichoceros</i>	<i>Nitzschia spp.</i>
<i>Ceratium tripos</i>	<i>Pleurosigma sp.</i>
<i>Dinophysis acuminata</i>	<i>Rhizosolenia sp.</i>
<i>Dinophysis caudata</i>	<i>Skeletonema costatum</i>
<i>Dinophysis rotundata</i>	<i>Thalassiosira spp.</i>
<i>Gonyaulax polygramma</i>	
<i>Gonyaulax spinifera</i>	<b>Kelas Raphidophyceae</b>
<i>Gymnodinium catenatum</i>	<i>Chattonella spp.</i>
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	
<i>Noctiluca scintilans</i>	<b>Kelas Chlorophyceae</b>
<i>Prorocentrum gracile</i>	<i>Spirulina sp.</i>
<i>Prorocentrum micans</i>	<i>Pediastrum duplex</i>
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	<i>Scenedesmus sp.</i>
<i>Protooperidinium latispinum</i>	
<i>Protooperidinium oceanicum</i>	<b>Zooplankton</b>
<i>Protooperidinium venustum</i>	Copepoda
<i>Protooperidinium oceanicum</i>	Tintinida
<i>Pyrophacus spp.</i>	