

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Segara Anakan Cilacap

Segara Anakan merupakan laguna yang terletak di selatan Pulau Jawa tepatnya di perbatasan antara Provinsi Jawa Barat dengan Jawa Tengah (Wiyarsih *et al.*, 2019). Laguna segara anakan terbagi kedalam dua daerah, yaitu Plawangan Barat dan Timur. Daerah Plawangan Barat mendapat masukan air tawar dari beberapa sungai yaitu Citanduy, Cihaur, Cikonde dan Cibeureum, sedangkan Plawangan Timur mendapat masukan air tawar dari perairan Kembang Kuning, Sapuregel, dan Donan. Selain mendapat masukan air tawar, juga mendapat masukan air laut melalui arah utama, yaitu dari selat Majingklak melalui celah Nusawere di sebelah barat dan dari arah muara Donan dan selat Motean yang relatif sempit disebelah timur yang merupakan celah pasang surut (*tidal creek*) (Siregar *et al.*, 2007).

Daerah Plawangan Timur merupakan bagian timur dari kawasan Segara Anakan, Cilacap yang terdiri dari kawasan lindung Sapuregel sampai wilayah Karang Bolong (ujung timur pulau Nusakambangan). Luas kawasan lindung Plawangan Timur \pm 650 Ha dengan kedalaman air antara 5-10 m (Dewi *et al.*, 2016). Daerah Plawangan Timur didominasi hidrodinamika dari Samudra Hindia (Jennerjahn *et al.*, 2007), dan dipengaruhi oleh air laut dan air tawar, sehingga kondisi ini memungkinkan vegetasi mangrove tumbuh membentuk ekosistem mangrove (Nursid, 2002). Daerah Plawangan Timur menjadi muara dari berbagai sungai-sungai dan terdapat beberapa aktivitas di Pelabuhan Sleko

serta adanya pasang surut menyebabkan daerah ini sebagai daerah jebak hara sekaligus sebagai daerah jebak polutan (Hartono *et al.*, 2013).

Daerah Plawangan Timur, selalu mengalami perubahan penurunan kualitas perairan berupa penyempitan dan pedangkalan akibat proses sedimentasi yang tinggi (Pribadi *et al.*, 2009). Sepanjang perairan Kembang Kuning dan Sapuregel merupakan hutan mangrove yang masih tinggi kerapatannya. Perairan Donan merupakan daerah muara sungai dan area industri minyak Pertamina, Semen Nusantara, pertambangan, dermaga Perhutani, dermaga pasir besi, dermaga Pertamina dan kawasan penduduk (Djohan, 2010).

2.2. Fitoplankton

2.2.1. Definisi

Fitoplankton merupakan tumbuhan yang melayang di laut, ukurannya sangat kecil, hanya dapat dilihat menggunakan mikroskop dengan ukuran paling umum berkisar antara 2-200 μm . Fitoplankton mempunyai peranan penting di laut karena bersifat *autotrofik* yang dapat menghasilkan makanan sendiri. Meskipun ukurannya kecil, organisme ini dapat merubah warna pada air laut jika bertumbuh dengan sangat lebat dan padat. Fitoplankton spesies diatom (*chrysophyta*) dan *Dinoflagellata* (*Dynophyta*) adalah dua kelompok yang sangat umum dijumpai terutama di perairan tropis (Nontji, 2006).

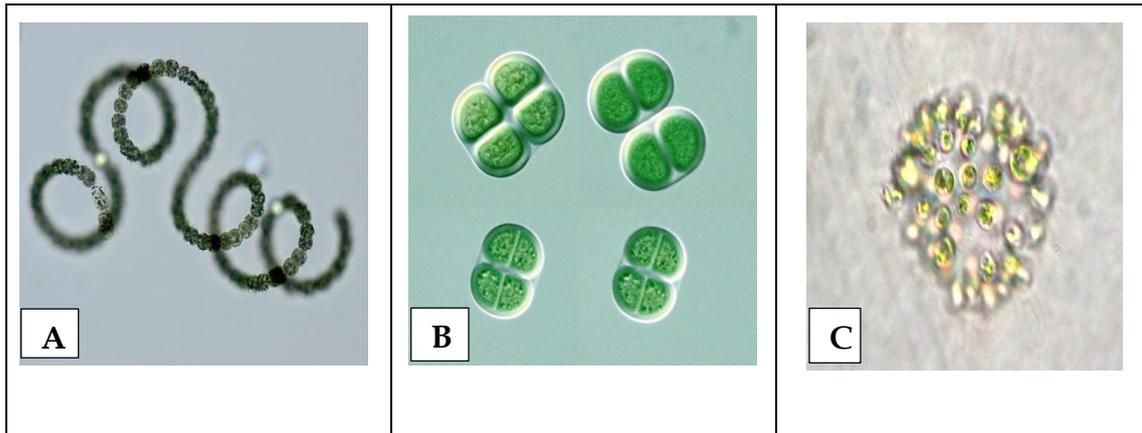
2.2.2. Morfologi dan klasifikasi Fitoplankton

Kelompok fitoplankton secara morfologi sangat beragam jenisnya dari mulai warna, morfologi dan struktur selnya (Suthers dan Rissik, 2009). Fitoplankton dicirikan dengan pigmen yang berkaitan dengan proses

fotosintesis. Selanjutnya proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton berkaitan dengan klorofil-a, pigmen tersebut merupakan sel organ kloroplas. Pigmen yang terdapat dalam kloroplas tersebut digunakan sebagai kriteria untuk mengelompokkan fitoplankton ke dalam beberapa kelas. Menurut Romimohtarto dan Juwana (2001) meskipun membentuk sejumlah biomassa di laut, fitoplankton hanya diwakili oleh beberapa divisio, sebagian besar diantaranya bersel satu dan bersifat mikroskopik. Sachlan (1982) membagi fitoplankton menjadi beberapa divisio yaitu : *Cyanophyta* (alga hijau biru), *Chlorophyta* (alga hijau), *Chrysophyta* (alga kuning), *Pyrrophyta* (dinoflagellata), *Euglenophyta*, *Phaeophyta* (alga coklat), *Rhodophyta* (alga merah). Berdasarkan uraian di atas berikut merupakan beberapa penjelasan morfologi fitoplankton menurut Huliselan *et al* (2006).

a. *Cyanophyta*

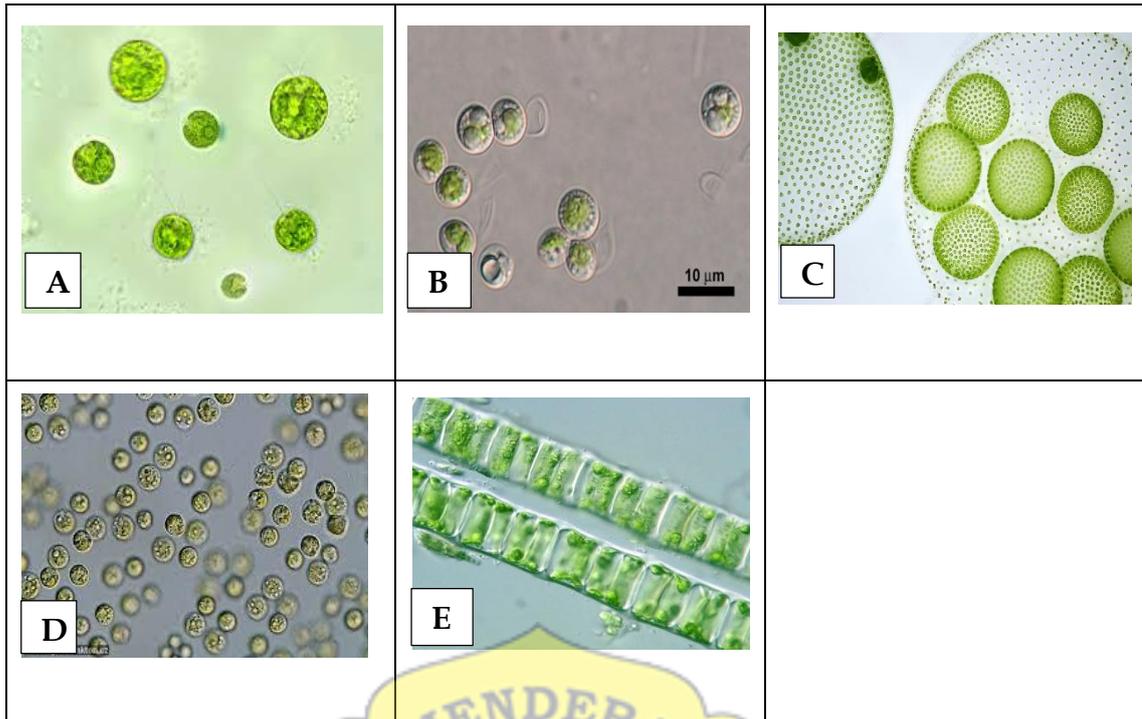
Cyanophyta merupakan fitoplankton hijau biru. Beberapa bentuk tubuh cyanophyta yaitu multiseluler (berfilamen atau seperti benang), uniseluler berbentuk bulat (soliter) dan berkoloni. Ukuran tubuh berkisar Antara 1 mm-60 mm. Contoh fitoplankton dari divisio *Cyanophyta* bentuk tubuh multiseluler adalah *Anabaena* sp. dan contoh fitoplankton dari *Cyanophyta* uniseluler adalah *Chroococcus* sp. sedangkan yang berbetuk koloni contohnya *Microcystis* sp.



Gambar 1. Contoh fitoplankton divisio *Cyanophyta* (a) *Anabaena* sp. (b) *Chroococcus* sp. (c) *Microcystis* sp.

b. *Chlorophyta*

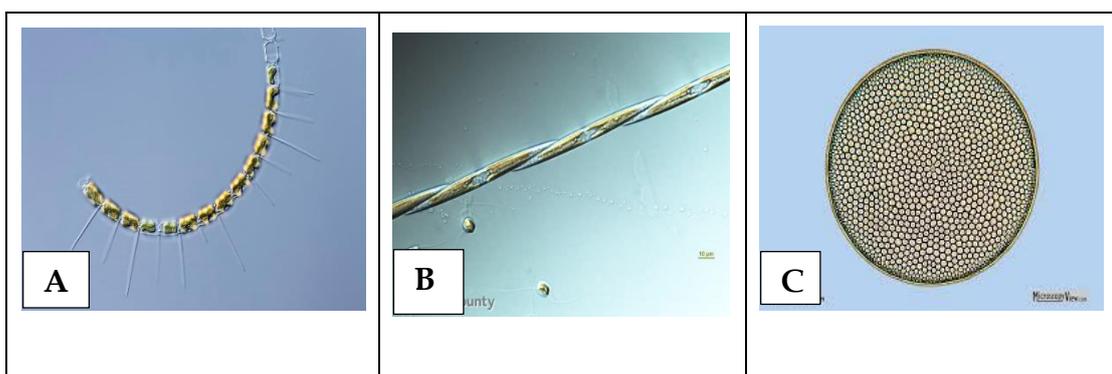
Chlorophyta atau alga hijau memiliki banyak sifat-sifat tanaman tingkat tinggi. Memiliki pigmen dominan klorofil-a dan klorofil-b, serta pigmen tambahan karoten (kuning kemerahan) dan xantofil (kuning). Susunan tubuh *Chlorophyta* bervariasi, ada yang terdiri dari sel-sel kecil yang merupakan koloni berbentuk benang yang bercabang-cabang ada pula yang membentuk koloni yang menyerupai tumbuhan tingkat tinggi. Dari banyaknya variasi *Chlorophyta* dapat dikelompokkan dari bentuknya yaitu ada yang bersel tunggal (uniseluler) dan motil contohnya *Chlamidomonas* sp. sel tunggal dan non motil contoh *Chlorella* sp. kemudian koloni senobium yaitu koloni yang mempunyai jumlah sel tertentu sehingga mempunyai bentuk yang relatif tetap contoh *Volvox* sp. ada yang berkoloni tidak beraturan contohnya *Tetraspora* sp. dan berbentuk filamen tidak bercabang contoh *Ulothrix* sp.



Gambar 2. Contoh fitoplankton divisi *Chlorophyta* (a) *Chlamidomonas* sp. (b) *Chlorella* sp. (c) *Volvox* sp. (d) *Tetraspora* sp. (e) *Ulothrix* sp.

c. *Chrysophyta*

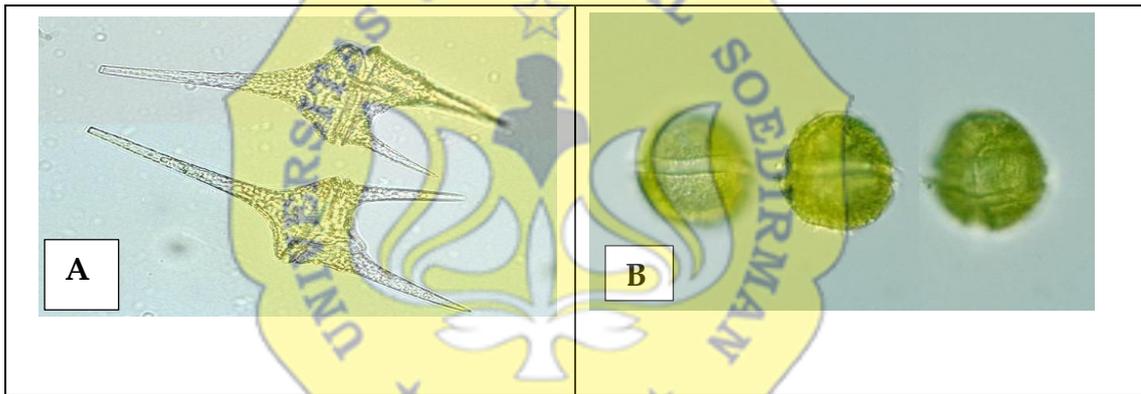
Chrysophyta atau alga coklat-emas. *Chrysophyta* memiliki dinding sel silika yang sedikit selama masa hidup. Beberapa anggota kelompok alga ini memiliki flagella dan motil. Semua memiliki kloroplas dan memiliki DNA yang terdapat di dalam nukleusnya. Alga ini hanya memiliki klorofil-a dan c serta beberapa karotenoid seperti fucoxanthin yang memberikan warna kecoklatan. Beberapa contoh fitoplankton dari divisi *Chrysophyta* adalah *Chaetosceros* sp. , *Pseudonitzschia* sp. , *Coscinodiscus* sp.



Gambar 3. Contoh fitoplankton division *Chrysophyta* (a) *Chaetosceros* sp. (b) *Pseudo nitzshcia* sp. (c) *Coscinodiscus* sp.

d. *Pyrrophyta*

Pyrrophyta adalah fitoplankton uniselular (bersel satu) dengan dua flagel yang berlainan, berbentuk pita, keluar dari sisi perut dalam suatu saluran. Tubuh *Pyrrophyta* terdiri atas satu sel, memiliki dinding sel berupa lempengan selulosa yang berbentuk poligonal dengan alur membujur dan melintang, memiliki klorofil-a, klorofil-c, fikobilin, dinoxantin, dan xantofil, serta dua flagela yang terletak di bagian samping atau ujung sel sehingga dapat bergerak aktif. Contoh fitoplankton dari divisio *Pyrrophyta* adalah *Ceratium* sp. dan *Peridinium* sp.



Gambar 4. Contoh fitoplankton divisio *Pyrrophyta* (a) *Ceratium* sp. (b) *Peridinium* sp.

e. *Euglenophyta*

Euglenophyta adalah organisme bersel satu yang mirip hewan karena tidak berdinding sel dan mempunyai alat gerak berupa flagel sehingga dapat bergerak bebas sebagian besar uniseluler, memiliki bintik mata berwarna merah (stigma), tidak memiliki dinding sel, memiliki klorofil-a dan dapat berfotosintesis seperti tumbuhan. Contoh fitoplankton dari divisio ini adalah *Euglena* sp. , *Phacus* sp.



Gambar 5. Contoh fitoplankton division *Euglenophyta* (a) *Euglena* sp. (b) *Phacus* sp.

2.2.3. Fitoplankton HABs

2.2.3.1. Definsi

Istilah HABs digunakan di dunia internasional yang merupakan singkatan dari *Harmful Algal Blooms*. HABs adalah istilah generik yang digunakan untuk mengacu pada pertumbuhan lebat populasi fitoplankton spesies-spesies tertentu di laut atau di perairan estuari yang dapat menimbulkan kerugian dan menyebabkan kematian massal ikan, mengkontaminasi makanan bahari (*seafood*) dengan toxin (yang diproduksi oleh fitoplankton), dan menyebabkan degradasi ekosistem (Nontji, 2006).

Blooming fitoplankton atau ledakan populasi fitoplankton didefinisikan sebagai suatu kejadian dimana satu atau beberapa spesies fitoplankton mencapai suatu kepadatan tertentu yang dapat membahayakan organisme di laut ataupun mengakibatkan terjadinya akumulasi toxin dalam tubuh organisme (Andersen, 1996). Berikut beberapa divisi fitoplankton yang dapat menyebabkan HABs (*Harmful Algal Blooms*):

1. *Cryshopyta*

Cryshopyta atau lebih dikenal sebagai kelompok diatom termasuk kelas yang dapat menyebabkan *blooming* fitoplankton pada perairan. Ledakan populasi *Chryshopyta* sering terjadi pada saat terjadi *upwelling* yang membawa sedimen kaya akan zat hara ke permukaan air. Ledakan populasi *Chryshopyta* yang terlalu padat dapat menyebabkan kematian ikan dan invertebrata karena deplesi oksigen pada perairan atau kerusakan mekanik pada insang (seperti *Thalassiosira mala* dan *Chaetosceros* sp.). Spesies *pseudo-nitzschia* sp. dapat menjadi penyebab *Amnesic Shellfish Poisoning* (ASP), akibat racun asam domoik, yang umumnya dihasilkan oleh spesies tersebut (Suthers and Rissik, 2009).

2. *Phyrophyta*

Kelas ini dikenal sebagai penyebab HABS, yaitu kondisi perubahan warna pada perairan yang dapat menyebabkan akumulasi biomassa yang akan menutupi suatu perairan dan menghalangi oksigen bebas dari udara berdifusi ke dalam perairan sehingga terjadi *anoksia* dan *hipoaksia*. Sebagian besar spesies dari kelas ini dapat menempel pada insang dan menyebabkan kegagalan fungsi mekanik. Hal tersebut juga berdampak pada kematian massal ikan dan krustasea (Hallegraeff, 1991). Beberapa spesies *Phyrophyta* dapat menyebabkan HABS umumnya berasal dari marga *Alexandrium* sp., *Dinophysis* sp., *Gambierdiscus* sp., *Gonyaulax* sp., *Nocticula* sp., *Prorocentrum* sp. dan *Pirodinium* sp. Salah satu contoh spesies penyebab HABS yaitu *Pyrodinium bahamense* yang dikenal dapat menyebabkan paralisis saraf otot dan kegagalan pernapasan pada manusia akibat toxin PSP (*Paralytic Shellfish Poisoning*) yang dihasilkan yaitu *saxiotin* dan

Peridinium sp. yang memiliki efek negatif bagi perairan yaitu menghasilkan toxin yang sifatnya mematikan bagi ikan dan organisme planktonik (*allelopathy*). *Peridinium* sp. juga memiliki kemampuan mencegah fitoplankton lainnya untuk tumbuh dengan biomassa yang tinggi, sehingga mengurangi persaingan zat hara (Samudra *et al.*, 2013)

3. *Cyanophyta*

Cyanophyta merupakan alga biru- hijau yang terdapat pada perairan estuari dan laut. Beberapa spesies dari divisio *Cyanophyta* mampu menghasilkan berbagai toxin seperti *microcystin*, *nodularian*, dan toxin *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP). Salah satu dari divisio *Cyanophyta* yang dapat menyebabkan HABs adalah *Microcystis aeruginosa* yang dapat menghasilkan toxin *microcystis*. Toxin tersebut dapat merusak hati dan merangsang pertumbuhan tumor (praseno dan Sugestiningih, 2000 dalam Aryawati, 2011).

2.2.3.2. Jenis dan Tipe HABs

Peristiwa HABs dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu *red tide maker* dan *toxin producer*. Peristiwa HABs yang masuk dalam kategori *red tide maker* disebabkan oleh ledakan populasi fitoplankton berpigmen sehingga warna air laut akan berubah sesuai dengan warna pigmen spesies fitoplanktonnya. 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 ikan. Peristiwa HABs yang dikategorikan *toxin producer* disebabkan oleh metabolit sekunder yang bersifat toxin dari suatu

fitoplankton sehingga toxin tersebut dapat terakumulasi pada biota perairan seperti ikan dan kerang (Mulyani *et al.*, 2012).

Fitoplankton yang ada di perairan laut, tawar dan estuari sebanyak 5000 spesies, 300 spesies diantaranya dapat mengakibatkan HABs dan 80 spesies yang dapat memproduksi racun. Beberapa spesies *Dinoflagellata* pada saat *blooming* menghasilkan *neurotoxins*, suatu senyawa yang dalam jumlah tertentu dapat membunuh ikan-ikan, terakumulasi di dalam organisme *filter feeders* seperti *shellfish*, yang nanti pada gilirannya akan sampai kepada manusia yang mengkonsumsinya (Graneli and Turner, 2006).

Fitoplankton yang memiliki potensi sebagai HABs di perairan Indonesia terdapat 37 spesies. Beberapa spesies fitoplankton penyebab HABs di perairan Indonesia dapat dilihat pada (Tabel 1).

Tabel 1. Spesies-spesies Fitoplankton penyebab HABs di Perairan Indonesia Menurut Praseno dan Sugestiningasih (2000).

No	Spesies	No	Spesies
	<i>Dinoflagelata</i>	21	<i>Ostreopsis ovata</i>
1	<i>Alexandrium affine</i>	22	<i>Prorocentrum convacum</i>
2	<i>Alexandrium cohorticula</i>	23	<i>Prorocentrum emarginatum</i>
3	<i>Alexandrium tamiyavanichi</i>	24	<i>Prorocentrum lima</i>
4	<i>Ceratium fusus</i>	25	<i>Prorocentrum micans</i>
5	<i>Ceratium tripos</i>	26	<i>Prorocentrum microcepHalus</i>
6	<i>Dinophysis acuminata</i>	27	<i>Prorocentrum triestinum</i>
7	<i>Dinophysis acuta</i>	28	<i>Pyrodinium bahamense var</i>
8	<i>Dinophysis caudate</i>		<i>compressum</i>
9	<i>Dinophysis miles</i>		<i>Raphidophyta</i>
10	<i>Dinophysis rotundata</i>	29	<i>Chatonella antique</i>
11	<i>Gambierdiscus toxicus</i>	30	<i>Chatonella subsalsa</i>
12	<i>Gonyaulax diegens</i>		<i>Diatom</i>
13	<i>Gonyaulax polyedra</i>	31	<i>Chaetoceros socialis</i>
14	<i>Gonyaulax polygramma</i>	32	<i>Chaetoceros convolutus</i>
15	<i>Gonyaulax spinifera</i>	33	<i>Chaetoceros concavicornis</i>
16	<i>Gymnodinium catenatum</i>	34	<i>Pseudonitzschia pungens</i>
17	<i>Gymnodinium impudicum</i>	35	<i>Thalassiosira mala</i>

18	<i>Gymnodinium pulchellum</i>		Cyanophyta
19	<i>Noctiluca scintillans</i>	36	<i>Trichodesmium erythraeum</i>
20	<i>Ostreopsis lenticularis</i>	37	<i>Trichodesmium thiebautii</i>

Sumber : Nontji (2008)

Berdasarkan Hallegraeff (1995) HABS dikelompokkan menjadi tiga tipe

yaitu:

Tabel 2. Pengelompokan HABS menurut Hallegraeff (1995).

No	Type	Karakteristik	Spesies fitoplankton
1.	Tipe yang umumnya membuat perubahan warna pada air	membahayakan biota laut akibat terjadinya penurunan oksigen terlarut.	Dinoflagellata <i>Gonyaulax polygramma</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i> . Cyanobacterium <i>Trichodesmium erythraeum</i> .
2.	Tipe yang dapat menghasilkan racun dan membahayakan manusia	Dapat membahayakan manusia karena racun yang ada di dalamnya	Dinoflagellata <i>Alexandrium acatenella</i> , <i>A. Tamarense</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Pyrodinium bahamense</i> , <i>Dinophysis acuta</i> , <i>D. acuminata</i> , <i>D. rotundata</i> , <i>Prorocentrum lima</i> . Diatom <i>Pseudo-nitzschia multiseries</i> , <i>P. Australis</i> , Cyanobacteria <i>Anabaena circinalis</i> , <i>Nodularia spumigena</i> .
3.	Tipe yang tidak membahayakan manusia tetapi membahayakan biota laut.	dapat merusak dan menyumbat sistem pernafasan (insang).	Diatom <i>Chaetoceros convolutes</i> . Dinoflagellata <i>Gymnodinium mikimotoi</i>

Blooming fitoplankton di Perairan Indonesia terjadi sebanyak 16 kejadian selama kurun waktu 1983 sampai 2005. Penyebab *blooming* umumnya dari kelompok *Dinoflagellata*, dan beberapa dari kelompok *Diatom* dan *Cyanophyta*. Beberapa contoh kejadian *blooming* fitoplankton menurut Sidabutar (2006) (Tabel 3).

Tabel 3. Kejadian *Blooming* Fitoplankton di Perairan Indonesia

Tahun Kejadian	Lokasi	<i>Blooming</i> fitoplankton dan biota target	Dampak
November 1983	Selat Lewotobi, Flores Timur	<i>Pyrodinium bahamense var compressum</i> Ikan Selar	Keracunan 240 orang, meninggal 4 orang
Agustus 1985	Teluk Kao	<i>Pyrodinium bahamense var compressum</i>	Tidak ada yang korban, ikan langka
Juli 1987	Ujung Pandan	<i>Pyrodinium bahamense var compressum</i> Kerang : <i>Meritrix meritrix</i>	4 orang meninggal
Januari 1988	Nunukan, Pulau Sebatik selatan Kaltim	<i>Pyrodinium bahamense var compressum</i> Kerang: <i>Meritrix meritrix</i>	Keracunan 65 orang, 2 meninggal
April s/d November 1991	Pantai Lampung Timur, Pulau Pari Kepulauan Seribu	<i>Pyrodinium bahamense var compressum</i> Kerang-kerangan	Keracunan 65 orang, 2 meninggal
Januari 1995	Pantai Binaria Ancol	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	
Juli 1995	Teluk Ambon	<i>Pyrodinium bahamense var compressum</i> Kerang-kerangan	Keracunan 33 orang, 2 meninggal
Juli 1996	Teluk Ambon	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Ikan langka
Agustus 1996	Teluk Ambon	<i>Noctiluca scintillans</i>	Ikan langka
Oktober 1997	Teluk Ambon	<i>Alexandrium</i> sp.	Ikan langka
Oktober s/d November 1999	Pulau Pari Kepulauan Seribu	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Ikan langka
September 1999	Perairan Kaltim	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Ikan langka
Mei 1999	Muara emberamo Irian Jaya	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Ikan langka
Oktober 2000	Sulawesi Utara	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Ikan langka
November 2004	Teluk Jakarta	<i>Skeletonema</i> dan <i>Noctiluca</i>	Kematian massal ikan dan biota lainnya

Juni 2005	Pantai Ancol, Marina Pyrodinium	<i>Noctiluca scintillans</i>	Kematian massal ikan- ikan dan biota lainnya
-----------	------------------------------------	------------------------------	---

Sumber: Sidabutar (2006)

2.2.3. Faktor Fisika Kimia yang mempengaruhi HABs

Parameter lingkungan yang mendukung kehidupan fitoplankton berupa suhu, kecerahan, salinitas, DO, pH, nitrat dan fosfat yang saling berkaitan satu sama lain (Tindall dan Morton 1992). Faktor-faktor yang diduga mempengaruhi keberadaan fitoplankton yang berpotensi HABs adalah sebagai berikut.

a. Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter lingkungan yang mempengaruhi terjadinya *blooming* organisme HABs. Kisaran suhu yang ada di perairan plawangan timur sekitar 27 - 32 °C dengan rata-rata 29,8 °C (Siregar *et al.*, 2007). Kisaran suhu optimal bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20-30°C (Effendi, 2003), Sedangkan terjadinya *blooming algal* ditandai dengan meningkatnya suhu perairan antara (30.9-31.5 °C) (Wiadnyana, 1996).

b. Kecerahan

Kecerahan merupakan ukuran transparansi perairan, yang ditentukan secara visual dengan menggunakan *Secchi Disk*. Nilai kecerahan dipengaruhi oleh keadaan cuaca, waktu pengukuran, kekeruhan, warna perairan dan padatan tersuspensi serta ketelitian pengukur kecerahan sangat penting pada perairan karena erat kaitannya dengan proses fotosintesis (Effendi, 2003). Respon fitoplankton terhadap kecerahan juga sangat dipengaruhi oleh pigmen yang dikandungnya. Perbedaan pigmen yang dikandung antara setiap spesies

fitoplankton menyebabkan perbedaan kecerahan yang diabsorpsi. Hal ini berpengaruh terhadap tingkat efisiensi fotosintesis (Lalli dan Parsons 1995 *dalam* Yuliana, 2012). Nilai kecerahan di perairan Plawangan Timur berkisar 37-160 cm dengan rata-rata 74,8 cm (Siregar *et al.*, 2007).

c. Salinitas

Salinitas berpengaruh terhadap pertumbuhan fitoplankton yang HABs. Pada kondisi cuaca dengan curah hujan dan kecerahan yang tinggi merupakan indikasi terjadinya HABs. Terjadinya *upwelling* yang mengangkat massa air bersalinitas tinggi di lapisan dalam juga mengakibatkan meningkatnya salinitas di permukaan perairan (Aryawati *et al.*, 2005). Salinitas yang sesuai bagi fitoplankton laut adalah di atas 20 ppt (Sachlan 1982 *dalam* Yuliana, 2012). Nilai salinitas di perairan Plawangan timur berkisar 7-35 ppt dengan rata-rata 22,4 ppt, sedangkan kondisi hidrologi terjadinya *blooming algal* ditandai dengan menurunnya kadar salinitas perairan antara (28.2-30.1 ppt) (Wiadnyana, 1996).

d. DO (oksigen terlarut)

Oksigen terlarut (DO) adalah jumlah oksigen terlarut dalam air yang berasal dari fotosintesis dan absorpsi atmosfer/udara. Oksigen terlarut di suatu perairan sangat berperan dalam proses penyerapan makanan oleh makhluk hidup dalam air (Aryawati, 2016). Menurut PP No. 82 tahun 2001, batas minimal konsentrasi DO perairan untuk kategori kelas III (perikanan) yaitu 4 mg/L. Kelarutan oksigen 2 mg/L sudah cukup untuk mendukung kehidupan fitoplankton selama perairan tersebut tidak mengandung bahan-bahan yang bersifat toxin (Efendi,

2003). Nilai konsentrasi oksigen terlarut pada perairan Plawangan Timur berkisar 5,7–8,8 ppm dengan rata-rata 7,2 ppm (Siregar *et al.*, 2007).

Tabel 4. Kisaran Kandungan Oksigen Terlarut di Perairan Kawasan Laguna Segara Anakan dari Waktu ke Waktu berdasarkan Studi Literatur

Tahun	Kisaran Kandungan Oksigen Terlarut (mg/L)	Rata-rata Kandungan Oksigen Terlarut (mg/L)	Sumber
1983	4,61- 7,98	6,30	Sumarsini, 1985
1987-1988	4,79- 6,67	5,73	Tjahjo dan Riswanto, 2013
2002-2005	5 - 8	6,50	Djohan, 2010
2003	4,2 - 6,6	5,40	Pulungsari, 2004
2004	4,4 -7,46	5,93	Saputra, 2007
2004-2006	3,9 - 6,8	5,35	Jennerjahn et al., 2009
2011	1,31 -8,39	4,85	Tjahjo dan Riswanto, 2013
2014	3,26 -4,96	4,11	Nurfiarini, 2015

(Dewi *et al.*, 2017)

e. Derajat keasaman (pH)

pH merupakan salah satu parameter penting dalam memantau kualitas perairan, seringkali dijadikan petunjuk untuk menyatakan baik buruknya suatu perairan, dan indikator mengenai kondisi keseimbangan unsur-unsur kimia (zat hara) di dalam ekosistem perairan. pH mempengaruhi ketersediaan unsur-unsur kimia dan ketersediaan zat hara yang dibutuhkan oleh hewan akuatik sehingga pH dalam suatu perairan dapat dijadikan indikator produktifitas perairan. pH air dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni aktivitas biologi, masukan air buangan, suhu, fotosintesis, respirasi, oksigen terlarut dan kelarutan ion-ion dalam air. perairan laut, baik laut lepas maupun pesisir memiliki pH relatif lebih stabil (sekitar 7,7 - 8,4). Nilai pH pada perairan Plawangan Timur berkisar 6,5–8,5 dengan rata-rata 7,6 (Siregar *et al.*, 2007).

pH yang ideal untuk kehidupan fitoplankton berkisar antara 6,5 - 8,0. (Syamsuddin, 2014).

f. Fosfat (PO_4)

Fosfat merupakan salah satu zat hara yang penting bagi pertumbuhan fitoplankton, dalam jumlah yang berlebih fosfat dapat menyebabkan terjadinya *eutrofikasi*. Sumber utama fosfat terutama berasal dari pelapukan batuan (*weathering*), limbah organik seperti deterjen dan hasil degradasi bahan organik. Nilai kandungan fosfat di perairan Plawangan Timur berkisar 0,054–0,707 ppm dengan rata-rata 0,166 ppm (Siregar *et al.*, 2007). Kisaran kadar fosfat pada perairan yang dapat menyebabkan *blooming algal* di perairan adalah antara (0,91 - 1,18 ppm) (Wiadnyana, 1996).

g. Nitrat (NO_3^-)

Nitrat merupakan bentuk utama dari nitrogen di perairan yang berfungsi bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut di air dan bersifat stabil, dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Sanusi, 2006). Spesiasi N di laut yang tergolong zat hara yaitu NO_3^- dan NO_2^- , bentuk dari spesiasi N di laut tergantung dari keberadaan oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) (Effendi, 2003).

Konsentrasi nitrat di perairan alami biasanya jarang melebihi 0.1 mg/L. Kadar nitrat melebihi 0,2 mg/L dapat mengakibatkan terjadinya *eutrofikasi* (pengkayaan) perairan yang selanjutnya memicu pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*). Nilai konsentrasi nitrat di Plawangan Timur berkisar 0,247–4,916 ppm dengan rata-rata 1,175 ppm (Siregar *et al.*, 2007).

Kondisi hidrologi terjadinya *blooming algal* diperairan ditandai dengan konsentrasi nitrat (0,91 - 1,18) (Wiadnyana, 1996).

h. Klorofil-a

Klorofil-a adalah salah satu pigmen fotosintesis yang paling penting bagi organisme yang ada di perairan. klorofil-a merupakan pigmen yang paling umum yang terdapat dalam fitoplankton, oleh karena itu konsentrasi fitoplankton sering dinyatakan dalam konsentrasi klorofil-a. Klorofil-a termasuk ke dalam zat hijau daun yang terdapat pada semua tumbuhan berperan dalam proses perubahan energi cahaya menjadi energi kimia tersimpan. Proses ini dikenal dengan fotosintesis. Kandungan klorofil-a di perairan berkaitan erat dengan kelimpahan fitoplankton (Nybakken, 1992).

Nilai rata-rata konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia sebesar 0,19 mg/m³ sementara nilai rata-rata pada saat berlangsung musim Timur adalah 0,24 mg/m³, menunjukkan nilai yang lebih besar dari pada musim Barat yaitu 0,16 mg/m³ (Nontji, 2002). Daerah-daerah dengan nilai klorofil-a tinggi berhubungan erat dengan adanya proses penaikan massa air (*upwelling*). Sebaran konsentarsi klorofil-a tinggi di perairan pantai sebagai akibat dari tingginya suplai zat hara yang berasal dari daratan melalui limpasan dari daratan dan limpasan air sungai dan sebaliknya cenderung rendah di daerah lepas pantai karena tidak adanya suplai zat hara dari daratan secara langsung. Meskipun demikian beberapa tempat masih ditemukan konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi meskipun jauh dari daratan. Keadaan tersebut disebabkan oleh adanya proses sirkulasi massa air yang memungkinkan terangkutnya sejumlah zat hara

dari tempat lain dan terangkutnya zat hara dari lapisan dalam ke permukaan seperti yang terjadi pada daerah *upwelling* (Hatta, 2002).

2.2.4. Kelimpahan Fitoplankton

Kelimpahan merupakan ukuran jumlah sel persatuan volume air yang umumnya dinyatakan dalam sel persatuan luas (Sidabutar, 2017). Kelimpahan populasi fitoplankton suatu spesies disebabkan adanya rangsangan dari organisme tersebut dan ditunjang oleh faktor lingkungan seperti suhu, pH, kecerahan, salinitas, DO, fosfat dan nitrat.

Adapun beberapa faktor penting yang mempengaruhi variasi kelimpahan fitoplankton dan produksi fitoplankton yakni curah hujan yang membawa zat hara dari darat ke laut melalui daerah aliran sungai, adanya pengadukan yang disebabkan oleh angin yang kuat sehingga zat hara yang ada di dasar terbawa ke atas. Berdasarkan kelimpahan, pada umumnya fitoplankton yang mendominasi seluruh perairan di dunia adalah *Diatom* yang termasuk dalam divisio *Chrysophyta*. Kelompok ini merupakan komponen fitoplankton yang paling umum di jumpai di laut diperkirakan di dunia ada sekitar 1400-1800 spesies *diatom*, tetapi tidak semua hidup sebagai plankton. Kemudian fitoplankton yang sangat umum ditemukan di laut setelah *diatom* yaitu *Dinoflagellata* yang termasuk dalam kelas *Dinophyceae*. *Dinoflagellata* ini umumnya melimpah di perairan tropis (Nontji, 2006).

Blooming spesies fitoplankton diindikasikan dengan pertumbuhan yang pesat dan berlangsung dalam kurun waktu 1-2 minggu. Beberapa spesies fitoplankton dalam kepadatan rendah sudah membahayakan tanpa

mengakibatkan perubahan warna perairan. Kelimpahan beberapa spesies yang bersifat toxin yang dikategorikan berbahaya yaitu *Alexandrium* sp. yang memiliki racun PSP (*Paralytic Shell fish Poisoning*) yang sudah terdeteksi pada kelimpahan pada 103 ind/L pada kerang-kerangan, *Gyrodinium* sp. yang dapat membunuh ikan dan organisme perairan lainnya pada konsentrasi kelimpahan lebih dari 107 ind/L. Kelimpahan fitoplankton yang telah mencapai 109 ind/L sudah dikatakan menunjukkan fenomena *red tide*, bahkan bila kepadatan mencapai lebih dari 109 ind/L sudah termasuk fenomena *red tide extreme* (Yuliana, 2012). Hingga saat ini belum ada kisaran mengenai batasan kepadatan sel fitoplankton yang dianggap *blooming* yang bersifat membahayakan atau meracuni (Choirun *et al.*, dalam Dewi, 2018).

