

link ebook buku Cyanophyceae:

- 1) <https://play.google.com/store/books/details?id=k-y9EAAAQBAJ>
- 2) <https://books.google.com/books/about/CYANOPHYCEAE.html?hl=id&id=k-y9EAAAQBAJ#v=onepage&q&f=false>

11.57

WhatsApp



Hasil Pencarian Daftar hasil pencarian

Cyanophyceae

Judul
 Kepengarangan
 Penerbit
 ISBN

Hasil pencarian
'Cyanophyceae'
berdasarkan kategori 'Judul'

Judul	Seri	Kepengarangan	Penerbit	ISBN
Cyanophyceae [sumber elektronik]	-	Endang Dewi Masithah	Airlangga University Press	978-602-473-962-1 (PDF)

Judul: Cyanophyceae [sumber elektronik]

Penerbit: Airlangga University Press

Pengarang: Endang Dewi Masithah

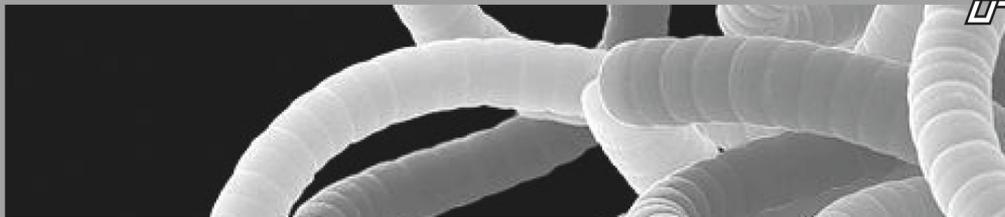
Tahun: 2021

Seri: -

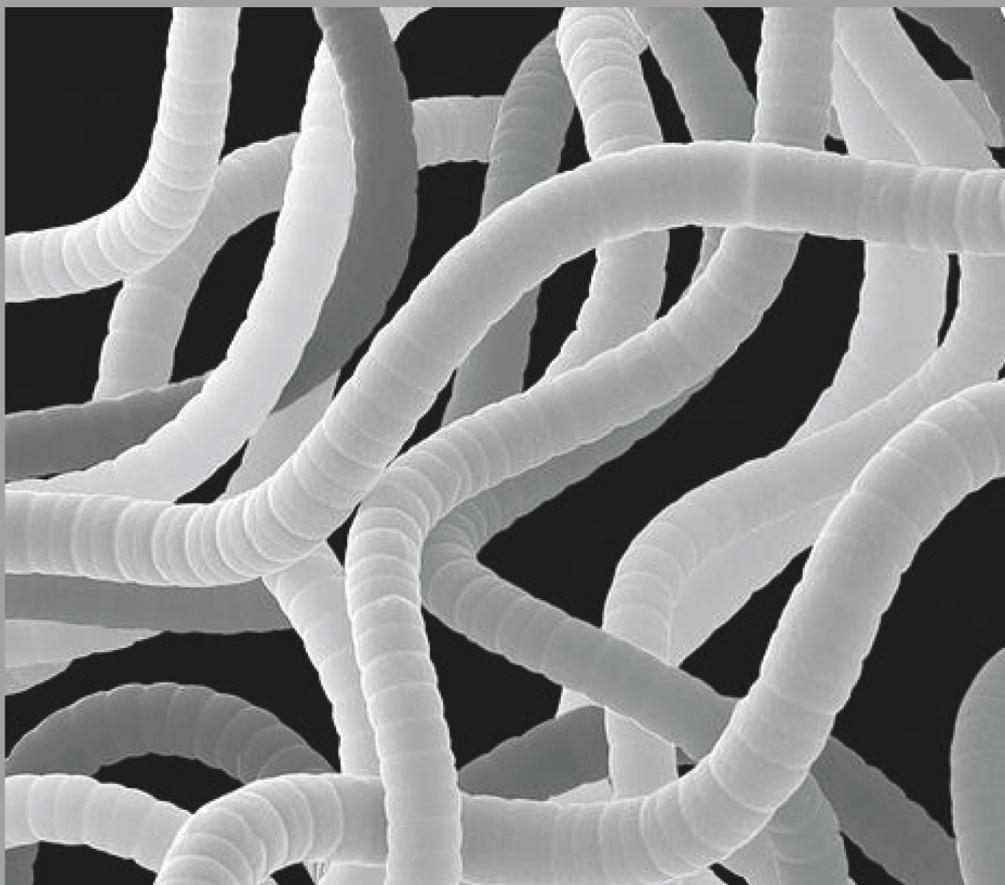
AA

isbn.perpusnas.go.id





CYANOPHYCEAE



OLEH

Endang Dewi Masithah



CYANOPHYCEAE

Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta:

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

CYANOPHYCEAE

OLEH

Endang Dewi Masithah



CYANOPHYCEAE

Endang Dewi Masithah

ISBN: 978-602-473-962-1 (PDF)

© 2021 Penerbit **Airlangga University Press**

Anggota IKAPI dan APPTI Jawa Timur
Kampus C Unair, Mulyorejo Surabaya 60115
Telp. (031) 5992246, 5992247 Fax. (031) 5992248
E-mail: adm@aup.unair.ac.id

Editor Naskah (Chusnul Chotimmah)
Layout (Mohamad Tohir)

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang mengutip dan/atau memperbanyak tanpa izin tertulis
dari Penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun.

KATA PENGANTAR

Plankton merupakan organisme renik di perairan yang memainkan peranan penting pada rantai makanan dari tropik paling rendah yaitu fitoplankton (produsen) ke level tropik selanjutnya yaitu zooplankton (konsumen pertama), dan berlanjut sampai konsumen level berikutnya. Sebagai produsen, plankton memiliki kemampuan fotosintesis dengan adanya klorofil. Berbagai jenis fitoplankton yang ada di perairan, disamping berperan sebagai produsen, masing-masing golongan memiliki ciri spesifik, baik bentuk, pigmen dominan, lingkungan optimum maupun kandungan zat-zat yang ada di dalamnya serta yang dihasilkan. Ciri spesifik ini perlu diketahui sebagai referensi dalam pengelolaan suatu perairan.

Cyanophyceae merupakan salah satu famili fitoplankton yang memiliki peranan dalam kehidupan, namun sebagian besar merupakan alga yang sering menyebabkan masalah dalam perairan ketika terjadi blooming karena beberapa di antara mereka mampu mensekresikan toksin ke perairan yang dapat berdampak pada kelangsungan hidup organisme perairan, terestrial bahkan manusia. Sebaliknya, beberapa spesies dari famili ini, justru memiliki manfaat yang sangat besar, tidak saja bagi lingkungan perairan, bahkan untuk manusia.

Monograf ini membahas tentang Cyanophyceae, mulai ciri, klasifikasi sampai manfaat dan bahayanya bagi perairan. Melalui buku monograf ini, diharapkan informasi tentang Cyanophyceae dapat bermanfaat bagi yang memerlukan.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
CYANOPHYCEAE	1
A. Ciri Umum	1
B. Klasifikasi Cyanophyceae	3
1. Chroococcales	3
2. Oscillatoriales	5
3. Chamaesiphonales	9
C. Struktur Sel Cyanophyceae	10
1. Dinding sel	10
2. Membran Sel	11
3. Sitoplasma	11
4. Asam Inti (Asam Nukleat)	11
5. Ribosom dan Mesosom	11
D. Lingkungan Hidup atau Sebaran	12
E. Perkembangbiakan Cyanophyceae	14
1. Pembelahan sel	14
2. Fragmentasi	14
3. Spora Vegetatif	15
F. Jenis-Jenis Cyanophyceae yang Menguntungkan	15
1. <i>Spirulina</i> sp.	15
2. <i>Nostoc commune</i>	19
3. <i>Anabaena azollae</i>	23

G. Jenis-jenis Cyanophyceae yang Merugikan	24
1. <i>Microcystis aeruginosa</i>	24
2. <i>Nodularia</i> sp.	33
H. Dampak Negatif Cyanophyceae	35
1. Jenis-jenis Racun Cyanophyceae (Cyanotoksin)	37
2. Kasus penyakit <i>haemocytic enteritis</i> atau Feses Putih pada Udang...	39
3. Penyimpangan Rasa (<i>Off-flavor</i>) Akibat Cyanotoxin.....	40
4. Efek Cyanotoxin terhadap Komunitas Zooplankton dan Fitoplankton Lain.....	43
I. Pengaruh Racun Microcystin	44
1. Pengaruh terhadap Manusia	44
2. Pengaruh terhadap Ikan dan Udang Vaname.....	45
J. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Cyanophyceae di Perairan	48
K. Pengendalian Populasi Cyanophyceae	55
1. Penerapan Metode Budidaya	56
2. Manajemen Kualitas Perairan	57
3. Perlakuan Fisik	59
4. Penerapan Bahan Kimia	59
5. Penerapan Bahan Alami	60
6. Penerapan Mikroorganisme	61
L. Degradasi Toksin <i>Cyanobacteria</i>	61
1. Definisi Hidrogen Peroksida (H_2O_2).....	63
2. Peranan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) pada Kegiatan Budidaya	64
DAFTAR PUSTAKA	65
BIOGRAFI PENULIS.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	<i>Chroococcus turgidus</i>	3
Gambar 2.	<i>Gloeocapsa magma</i>	4
Gambar 3.	<i>Anacystis limnetica</i>	4
Gambar 4.	<i>Spirulina platensis</i>	5
Gambar 5.	<i>Oscillatoria</i> sp.	6
Gambar 6.	<i>Nostoc commune</i>	7
Gambar 7.	<i>Anabaena azollae</i> : heterocyst (a); vegetative cell (b); polar nodules (c). <i>Azolla filiculoides</i> : trichomes (d).....	8
Gambar 8.	<i>Rivularia halophila</i>	8
Gambar 9.	<i>Gloeotrichia echinulate</i>	9
Gambar 10.	<i>Chamaesiphon polymorphus</i>	9
Gambar 11.	<i>Dermocarpa violacea</i>	10
Gambar 12.	Struktur sel Cyanophyceae	11
Gambar 13.	Fragmentasi pada Cyanophyceae bentuk filamen	14
Gambar 14.	Spora vegetatif: heterocyst (N-fixing cell)	15
Gambar 15.	<i>Spirulina</i> sp.....	16
Gambar 16.	<i>Nostoc commune</i>	20
Gambar 17.	Budidaya <i>Azolla pinata</i>	23
Gambar 18.	Koloni <i>Microcystis aeruginosa</i> yang berasal dari danau Putrajaya, Malaysia (2.9419° N, 101.6891° E) dilihat pada mikroskop	26
Gambar 19.	<i>Nodularia spumigena</i>	33
Gambar 20.	Struktur kimia racun Nodularins	35
Gambar 21.	Kenampakan perairan yang mengalami blooming Blue-Green algae.....	39

Gambar 22. Kenampakan perairan tambak yang mengalami blooming Blue Green Algae	43
Gambar 23. Histopatologi otot udang vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>). a) potongan sel otot udang normal b) potongan sel otot yang menunjukkan adanya nekrosis, atropia dari otot dan infiltrasi haemolymp	47
Gambar 24. Histopatologi hepatopankreas udang vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>). a) potongan sel hepatopankreas udang normal. b) potongan hepatopankreas udang vaname yang terpapar racun microcystin.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik koloni <i>Microcystis</i>	25
Tabel 2. Beberapa jenis racun yang dihasilkan Cyanophyceae (Cyanotoxin). ..	37
Tabel 3. Beberapa kategori <i>off-flavor</i> akibat Cyanotoxin.....	41
Tabel 4. Tingkat Kondisi <i>off-flavor</i> akibat Cyanotoxin.....	41
Tabel 5. Rasio N: P Perairan dan Plankton yang Mendominasi.....	57

CYANOPHYCEAE

CYANOPHYCEAE

A. Ciri Umum

Fitoplankton merupakan organisme nabati dan berukuran mikroskopis, mempunyai kemampuan gerak yang lemah dan sangat dipengaruhi oleh pergerakan air seperti gelombang dan arus. Fitoplankton yang hidup di perairan tawar terdiri dari kelas Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Pyrrophyceae, Cyanophyceae (Cyanobacteria), Chrysophyceae, Euglenophyceae, dan Cryptophyceae (Goldman & Horne, 1983).

Cyanophyceae merupakan salah satu dari sekian banyak organisme perairan yang ada di muka bumi dan juga fitoplankton yang paling dominan pada perairan eutrofik, Cyanophyceae menghasilkan dua jenis racun yaitu, neurotoxins dan *peptide hepatotoxins* yang bersifat oksik bagi organisme di sekitarnya termasuk juga beresiko bagi manusia pengonsumsi air yang mengandung racun tersebut (Goldman & Horne, 1983; Gutierrez *et al.*, 2007).

Cyanophyceae juga disebut sebagai Cyanobacteria (Yunani, *kyanos* = biru, *bacterion* = batang kecil), adalah satu-satunya ganggang yang tergolong dalam kingdom Monera. Ganggang ini dimasukkan dalam kingdom Monera karena struktur selnya mirip dengan struktur sel bakteri yaitu bersifat prokariot (inti selnya tidak diselubungi membran).

Ganggang ini sering disebut ganggang hijau biru sebab berwarna hijau kebiruan. Memiliki pigmen klorofil (berwarna hijau), karotenoid (berwarna oranye) serta pigmen fikobilin yang terdiri dari fikosianin (berwarna biru) dan fikoeritin (berwarna merah). Gabungan pigmen-pigmen ini membuat warnanya hijau kebiruan. Hal ini ditegaskan pula oleh Vasista (1999) bahwa nama Cyanophyceae didasarkan atas pigmen-pigmen yang terdapat di dalam selnya, yaitu klorofil-a, b-karotin, xantofil dan fikobilin. Pigmen fikobilin yang paling dikenal pada Cyanophyceae adalah pigmen biru c-fikosianin dan pigmen merah c-fikoeritrin yang tidak ditemukan pada anggota alga lain. Ditambahkan oleh Tjitrosoepomo (1998) bahwa perbandingan bermacam-macam pigmen atau zat warna tersebut amat labil, oleh sebab itu warna alga tidak selalu tetap. Klorofil Cyanophyceae tidak berada dalam kloroplas, tetapi tersebar di seluruh sitoplasma. Dinding sel mengandung peptida, hemiselulosa dan selulosa, dan mempunyai selaput berlendir.

Cyanophyceae bukanlah ganggang yang sebenarnya karena bersifat prokariot (tidak memiliki membran inti, seperti bakteri), sementara itu, ganggang yang sebenarnya memiliki sel eukariot. Cyanophyceae merupakan anggota dari Eubacteria. Berdasarkan kajian evolusi, ganggang ini telah menghuni bumi sejak 3,8 milyar tahun yang lalu dan bahkan sebagian sudah menjadi fosil atau lapisan kerak stromatolit.

B. Klasifikasi Cyanophyceae

Cyanophyta terdiri dari 1 kelas yaitu Cyanophyceae. Dari kelas tersebut, ada 3 Ordo yang dibedakan berdasar bisa tidaknya membentuk spora. Ketiga ordo tersebut yaitu:

1. Chroococcales

Tidak menghasilkan spora, bersifat unicell (berbentuk tunggal) atau berkoloni (berkelompok). Reproduksi terjadi melalui dua cara yaitu pembelahan sel (pada unicell) dan fragmentasi (pada koloni). Setelah pembelahan, sel-sel tetap bergandengan dengan perantaraan lendir dan dengan demikian terbentuk kelompok – kelompok atau koloni. Umumnya alga ini membentuk selaput lendir pada cadas atau tembok yang basah. Ordo Chroocales terdiri dari 1 famili yaitu Chroococcaceae. Contoh organisme dari ordo ini adalah:

a. *Chroococcus*

Organisme ini hidup di air atau kolam yang tenang. *Chroococcus* merupakan organisme uniseluler atau berkelompok dalam bentuk agregat dari 2 atau 4 sel. Hasil pembelahan sel *Chroococcus* berbentuk setengah bola.



Gambar 1. *Chroococcus turgidus*
(Purnomo, 2020)

b. *Gloeocapsa*

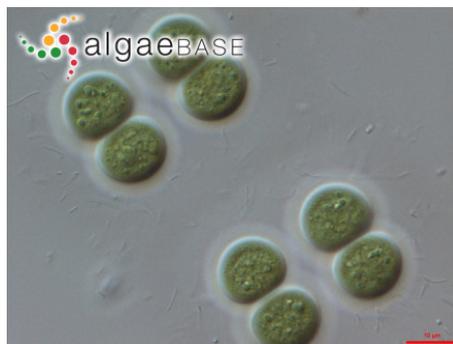
Gloeocapsa merupakan alga Cyanophyceae yang hidup pada batu yang lembab atau epifit pada tumbuhan lain. Berbentuk bulat memanjang dan dikelilingi oleh membran dengan beberapa generasi sel yang terdapat di dalamnya. Membran kadang-kadang ada yang berpigmen.



Gambar 2. *Gloeocapsa magma*
(Hcransto, 2021)

c. *Anacystis*

Anacystis merupakan kelompok Cyanobacteria yang memiliki kemampuan fotosintesis. Genus ini terdiri dari bakteri bersel tunggal, berbentuk silinder kecil atau seperti batang yang mengambang bebas.



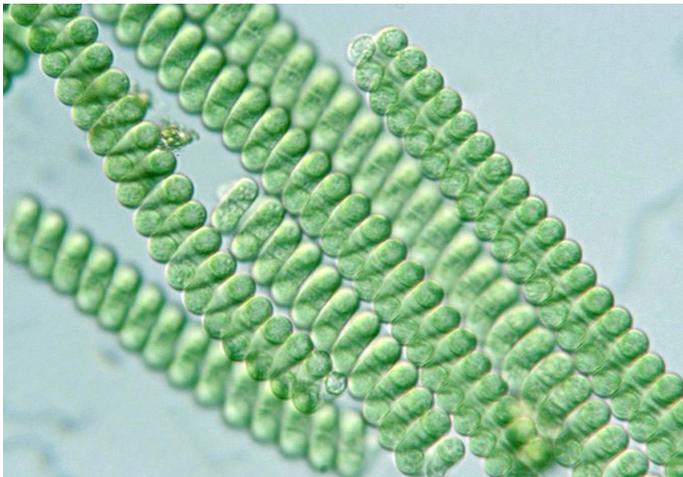
Gambar 3. *Anacystis limnetica*
(Drouet and Daily, 1952)

2. Oscillatoriales

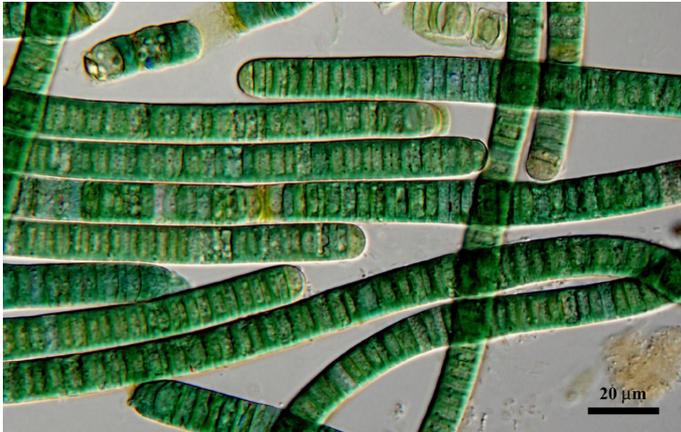
Ordo ini tidak menghasilkan spora. Seluruhnya, sel-selnya merupakan koloni yang berbentuk benang (berbentuk filamen) atau diselubungi membran. Benang-benang tersebut melekat pada substratnya, tidak bercabang, jarang mempunyai percabangan sejati, lebih sering mempunyai percabangan semu. Benang-benang tersebut selalu dapat membentuk hormogonium. Sebagian memiliki heterokista dan sebagian tidak. Reproduksi terjadi secara fragmentasi (umumnya) dan sebagian akineta. Ordo ini terdiri dari 3 famili, yaitu:

a. Oscillatoriaceae

Famili ini tidak punya heterokista. Contohnya adalah genus: *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Spirulina*, *Arthrospira*. Contoh organisme (spesies) ini adalah: *Oscillatoria* sp. dan *Spirulina platensis*.



Gambar 4. *Spirulina platensis*
(Fayzunnessa, *et.al.* 2011)



Gambar 5. *Oscillatoria* sp.
(Elster, 2009)

b. Nostocaceae

Famili ini mempunyai heterokista serta memproduksi akineta. Contohnya adalah genus: *Nostoc*, *Anabaena*. Contoh organisme ini adalah: *Nostoc commune*, *Anabaena azollae*, *Anabaena cycadae*, *Microcoleus* sp., *Plectonema boryanum*.

Nostoc commune

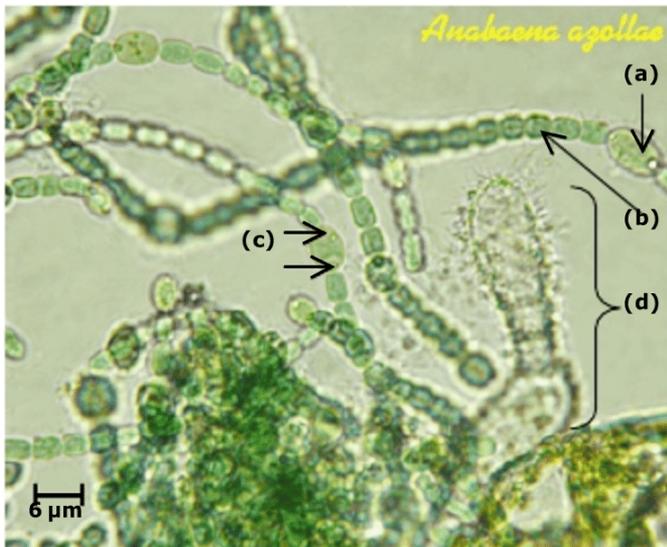
Ciri khas alga ini adalah adanya vacuola gas dalam sel yang memberikan daya apung. Perendaman sawah selama musim hujan mengakibatkan *Nostoc* tumbuh subur dan memfiksasi N_2 dari udara sehingga dapat membantu penyediaan nitrogen yang digunakan untuk pertumbuhan padi.



Gambar 6. *Nostoc commune*
(Borowitzka, 2018)

Anabaena

Anabaena tidak memiliki organel yang kompleks seperti sistem endomembran yang dimiliki kelompok tumbuhan sel eukariotik. *Anabaena* tidak memiliki inti sel tetapi hanya filamen, berbentuk koloni seperti bola lendir yang saling menempel sehingga membentuk filamen lingkaran. *Anabaena azollae* dan *Anabaena cycadae* dapat bersimbiosis dengan *Azolla pinnata* (paku air) dan *Cycas rumphii*. Simbiosis *Anabaena azollae* dengan *Azolla pinnata* dapat digunakan sebagai alternatif pupuk urea, karena simbiosis ini dapat meningkatkan kadar Nitrogen di lahan persawahan karena paku air ini dapat memfiksasi nitrogen (N_2) di udara dan mengubah menjadi amoniak (NH_3) yang tersedia bagi tanaman.



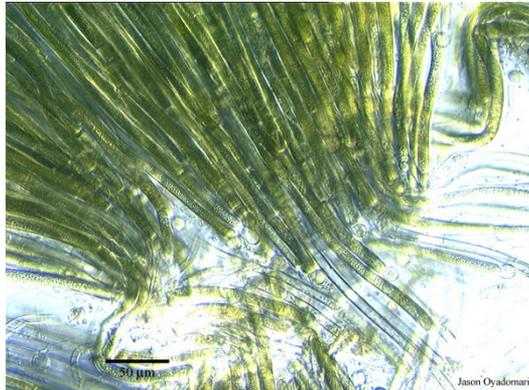
Gambar 7. *Anabaena azollae*: heterocyst (a); vegetative cell (b); polar nodules (c). *Azolla filiculoides*: trichomes (d) (Pereira *et al.*, 2006).

Rivulariaceae

Famili ini memiliki heterokista serta sebagian memproduksi akineta. Contohnya adalah genus: *Rivularia*, *Gloeotrichia*. Contoh organiseme (spesies) ini adalah: *Rivularia halophila* dan *Gloeotrichia echinulata*.



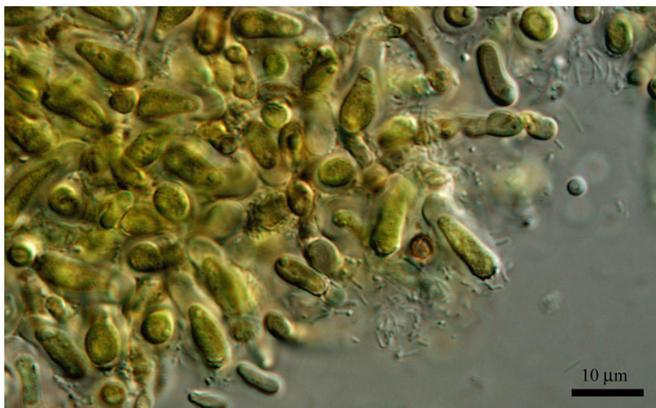
Gambar 8. *Rivularia halophila*
(Pietrasiak, 2019)



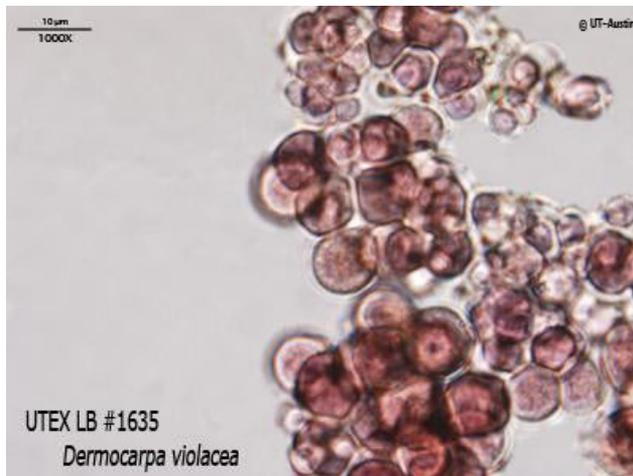
Gambar 9. *Gloeotrichia echinulate*
(Baker, 2012)

3. Chamaesiphonales

Ordo ini menghasilkan spora, bersifat unicell (bersel tunggal) atau merupakan koloni yang berbentuk filamen (benang). Benang-benang tersebut dapat putus-putus, merupakan *hormogonium* yang dapat merayap dan merupakan koloni baru. Prosesnya disebut fragmentasi. Ordo ini terdiri dari 2 famili yaitu Chamaesiphonaceae dan Dermocarpaceae. Contohnya adalah genus: Chamaesiphon dan Dermocarpa.



Gambar 10. *Chamaesiphon polymorphus*
(CCALA, 2020)



Gambar 11. *Dermocarpa violacea*
(Lewin, 1965)

Dalam sumber yang lain, yaitu Whitton *et al.* (2002), menyebutkan bahwa kelas Cyanophyceae terbagi menjadi 4 ordo, yaitu Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales dan Stigonematales. Ordo Chroococcales memiliki 12 famili, 35 genus dan 98 spesies. Ordo Oscillatoriales memiliki 6 famili, 16 genus dan 139 spesies. Ordo Nostocales memiliki 7 famili, 16 genus dan 109 spesies. Ordo Stigonematales memiliki 3 famili, 6 genus dan 15 spesies.

C. Struktur Sel Cyanophyceae

1. Dinding sel

Dinding sel dari suatu sel menyebabkan sel memiliki bentuk tetap. Di bagian luar dinding sel terdapat selubung lendir. Selubung ini berfungsi mencegah sel dari kekeringan. Selain itu lendir berfungsi memudahkan sel bergerak. Seperti diketahui, beberapa ganggang ini dapat bergerak dengan gerakan maju mundur (osilasi), walaupun belum dapat dipastikan penyebab apa sehingga ganggang ini dapat bergerak.

2. Membran Sel

Membran sel berfungsi mengatur keluar masuknya zat dari serta ke dalam sel. Terdapat pelipatan membran sel ke arah dalam membentuk lamella fotosintetik atau membran tilakoid. Klorofil terdapat pada membrane tilakoid ini. Sehingga, inilah perbedaan dengan sel eukariotik dimana klorofil berada di dalam kloroplas. Sementara itu, ganggang hijau biru tidak mempunyai kloroplas.

3. Sitoplasma

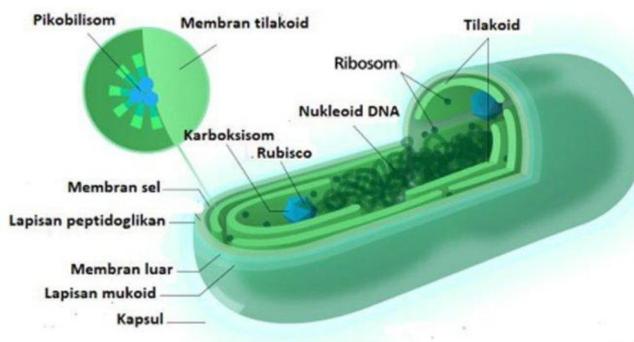
Sitoplasma merupakan koloid yang tersusun atas air, protein, lemak, gula, mineral, enzim, ribosom dan DNA. Metabolisme sel terjadi di dalam sitoplasma.

4. Asam Inti (Asam Nukleat)

DNA terdapat pada satu lokasi di dalam sitoplasma, namun tidak memiliki membran inti. Karena tidak memiliki membran inti itulah maka ganggang hijau biru digolongkan ke dalam prokariotik.

5. Ribosom dan Mesosom

Ribosom merupakan organel untuk sintesis protein, sedangkan mesosom merupakan penonjolan membran sel ke arah dalam yang berperan sebagai penghasil energi.



Gambar 12. Struktur Sel Cyanophyceae
(Aisyah, 2021)

D. Lingkungan Hidup atau Sebaran

Cyanophyceae dapat ditemukan pada berbagai kondisi lingkungan, baik lingkungan akuatik maupun terrestrial seperti laut, lumpur, rawa, air tawar, air payau, tanah dan bebatuan. Graham and Wilcox (2000) menambahkan bahwa pada umumnya Cyanophyceae banyak ditemukan pada perairan tawar dengan pH netral. Meskipun begitu, ada juga Cyanophyceae yang hidup pada lingkungan ekstrim seperti sumber air panas, gunung berapi, kutub utara, perairan dengan salinitas yang tinggi dan gurun. Oleh karena itu Cyanophyceae dikenal sebagai organisme yang kosmopolit.

Cyanophyceae dapat hidup sebagai plankton atau hidup sebagai benthos (Prihantini, *et al.* 2008). Kebanyakan Cyanophyceae yang berbahaya adalah planktonik dan memiliki vesikel gas yang memberi mereka kapasitas untuk mengatur daya apung. Cyanophyceae berkembang biak di badan air seperti kolam, danau dan waduk (Butler, *et al.* 2009). Disamping hidup di perairan (terutama perairan tawar) dan tempat-tempat lembab, Cyanophyceae juga ditemukan di habitat terrestrial. Cyanophyceae mampu hidup pada perairan dengan suhu sampai 85 derajat C (sumber air panas), juga pada batu dan tempat dimana makhluk hidup lain tidak dapat hidup. Dengan adanya ganggang hijau biru ini, terjadilah pelapukan batuan sehingga memungkinkan ganggang dan tumbuhan lain hidup. Itulah sebabnya ganggang hijau biru dikatakan sebagai organism perintis. Karena rentang lingkungan hidupnya yang luas, maka Cyanobacteria disebut bersifat kosmopolit. Cyanophyceae dapat hidup secara soliter, hidup bebas, sebagai koloni atau filamen. Mereka berukuran mikroskopis tetapi populasinya dapat terlihat, misalnya sebagai benthik, kerak, atau koloni berupa gelatin yang besar (Catherine *et al.*, 2013).

Beberapa penelitian menunjukkan suhu optimal untuk pertumbuhan Cyanophyceae yaitu 15-35°C, namun beberapa spesies Cyanophyceae pernah ditemukan dapat bertahan hidup hingga suhu

72°C di dalam kolam air panas di Taman Nasional Yellowstone (USA). Cyanophyceae juga ditemukan pada saat musim dingin dimana suhu udara mencapai suhu 0°C sampai -60°C (Whitton *et al.*, 2002). Hal ini sesuai dengan pendapat Crossetti and Bicudo (2005) bahwa Cyanophyceae dapat lebih bertoleransi terhadap kisaran suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan Cyanophyceae dan diatom. Rahmadi Aziz (2015) juga menyatakan bahwa Cyanophyceae dan Chlorophyta merupakan jenis fitoplankton dominan di perairan yang tergenang, namun karena Cyanophyceae dapat lebih bertoleransi terhadap kisaran suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan Chlorophyta dan Bacillariophyta sehingga Cyanophyceae lebih mendominasi.

Cyanophyceae cenderung meningkat di perairan yang hangat dan kaya nutrisi, namun beberapa spesies juga ditemukan di perairan jernih, miskin nutrisi dan dingin bahkan dibawah es. *Blooming* dapat terbentuk atau hilang dengan cepat karena kondisi cuaca yang tidak menguntungkan. Thajuddin and Subramanian (1992) menambahkan bahwa Cyanophyceae mempunyai sifat-sifat yang khas, yang tidak dimiliki oleh tumbuhan lainnya, yaitu tahan kekeringan, tahan panas di dalam air, beberapa jenis lain dapat mengikat molekul N₂ dari udara jika di dalam tanah tidak ada nitrat, dapat tumbuh di lingkungan toksik dan dapat tumbuh pada perairan dengan salinitas tinggi. Beberapa anggota dari Cyanophyceae telah menunjukkan kemampuannya mengikat nitrogen dari udara dimana kondisi terbaik yang dilakukan oleh Cyanophyceae umumnya pada pH 7,0-8,5 (Hardjowigeno, 2007).

Cyanophyceae memiliki pigmen fotosintetik sehingga dapat berfotosintesis dan bersifat fotoautotrof yaitu dapat membuat makanan sendiri dari zat anorganik. Cyanophyceae disebutkan memiliki peran sebagai produsen dan penghasil senyawa nitrogen di perairan. Cyanophyceae adalah satu-satunya kelompok organisme yang mampu mereduksi nitrogen dan karbon dalam kondisi tidak ada oksigen

(anaerob). Mereka melakukannya dengan mengoksidasi belerang (sulfur) sebagai pengganti oksigen.

E. Perkembangbiakan Cyanophyceae

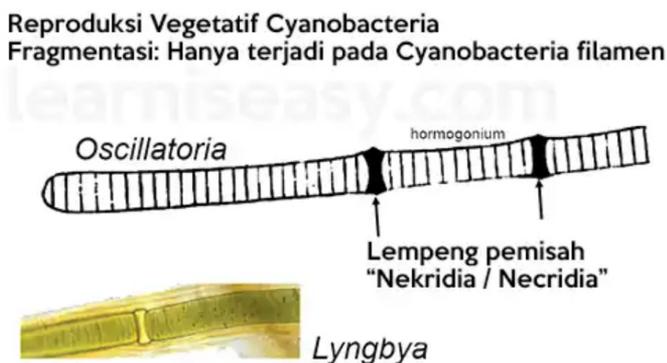
Cyanophyceae dapat berkembang biak melalui 3 cara vegetatif atau aseksual. Perkembangbiakan secara generative atau seksualnya belum diketahui. Penjelasan tentang perkembangbiakan vegetatif dari Cyanophyceae adalah sebagai berikut:

1. Pembelahan Sel

Proses perkembangbiakan dengan cara ini yaitu sel membelah menjadi dua bagian yang membentuk sel baru. Sel-sel baru yang terpisah terpisah tersebut bisa tetap bergabung membentuk koloni. Contoh spesies yang berkembang biak dengan cara ini adalah *Gleocapsa magma*.

2. Fragmentasi

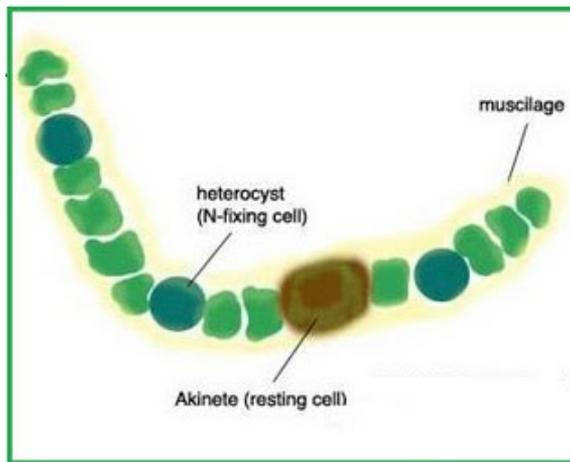
Pada cara berkembang biak secara fragmentasi, yang terjadi adalah pemutusan sebagian anggota tubuh yang dapat membentuk individu baru. Perkembangbiakan ini terjadi pada ganggang yang berbentuk filamen atau benang, seperti *Oscillatoria* sp.



Gambar 13. Fragmentasi pada Cyanophyceae bentuk filamen (Nur, 2020)

3. Spora vegetatif

Spora vegetatif yang dimaksud yakni heterokista. Pada keadaan yang tidak menguntungkan heterokista tetap mampu bertahan karena dinding selnya tebal. Setelah lingkungan kembali menguntungkan heterokista dapat membentuk filamen baru. Selain heterokista ada juga bagian spora yang membesar berisi cadangan makanan yang disebut akinet. Contohnya adalah *Chamaesiphon comfervicolus*.



Gambar 14. Spora vegetatif: heterocyst (N-fixing cell)
(Anonimus, 2009)

F. Jenis-Jenis Cyanophyceae yang Menguntungkan

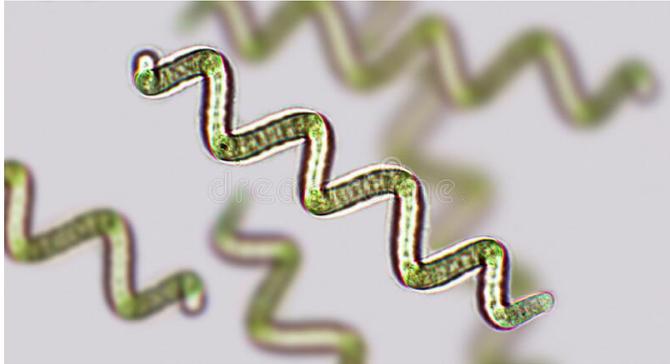
1. *Spirulina* sp.

a. Klasifikasi

Klasifikasi *Spirulina* sp. adalah sebagai berikut:

- Kingdom : Protista
- Divisi : Cyanophyta
- Kelas : Cyanophyceae
- Ordo : Nostocales
- Famili : Oscillatoriaceae

Genus : *Spirulina*
Spesies : *Spirulina* sp.



Gambar 15. *Spirulina* sp.
(Fayzunnessa, et al., 2010)

b. Morfologi

Bentuk tubuh *Spirulina* sp. yang menyerupai benang merupakan rangkaian sel yang berbentuk silindris dengan dinding sel yang tipis, berdiameter 1-12 μm . Filamen *Spirulina* sp. hidup berdiri sendiri dan dapat bergerak bebas (Tomaselli, 1997). *Spirulina* sp. berwarna hijau tua di dalam koloni besar yang berasal dari klorofil dalam jumlah tinggi. *Spirulina* sp. memiliki struktur trichoma spiral dengan filamen-filamen bersifat mortal dan tidak memiliki heterosit. Sel *Spirulina* sp. berukuran relatif besar yaitu 110 μm , sehingga dalam proses pemanenan dengan menggunakan kertas saring lebih mudah (Borowitzka M.A., 1988).

Morfologi fisiologis *Spirulina* sp. yang seperti benang adalah rangkaian sel silindris dengan dinding sel yang tipis, berdiameter 1-12 μm . Filamen *Spirulina* sp. bersifat independen (berdiri sendiri) dan dapat bergerak bebas (Tomaselli, 1997). *Spirulina* sp. Berwarna hijau tua dalam koloni besar karena kandungan klorofil yang tinggi. *Spirulina* sp. ini memiliki struktur trikoma spiral dengan filamen yang bersifat mortal

dan heterosit. *Spirulina* sp. selnya relatif besar yaitu 110 μm , sehingga mudah dipanen dengan kertas saring (Borowitzka M.A., 1988).

c. Karakteristik umum

Spirulina sp. adalah mikroalga yang mengandung senyawa protein tinggi (55-70%) dan merupakan sumber mikronutrien (Phang *et al.*, 2000). Pada tahun 1976, *Spirulina platensis* digadang-gadang sebagai kandidat kuat untuk sumber makanan masa depan oleh International Association of Applied Microbiology. Beberapa sumber bahan pangan seperti jamur dan bakteri mikroorganisme mempunyai kadar protein yang sangat tinggi sehingga sering kali disebut juga sebagai protein sel tunggal (PST).

Spirulina merupakan genus dari jenis *cyanobacteria* atau bakteri yang mengandung klorofil dan dapat bertindak sebagai organisme yang bisa melakukan fotosintesis untuk membuat makanan sendiri. Bentuknya spiral, mengandung senyawa fikosianin yang tinggi sehingga cenderung berwarna hijau biru. *Spirulina* diketahui dapat tumbuh dengan baik di perairan danau, air tawar, air laut, dan media tanah lembab. *Spirulina* juga memiliki kemampuan untuk tumbuh pada media yang memiliki kadar alkalinitas tinggi, (pH 8,5–11), di mana mikroorganisme pada umumnya tidak bisa tumbuh dengan baik dalam kondisi tersebut (Kabede dan Ahlgren, 1996). Suhu terendah untuk budidaya *Spirulina platensis* untuk hidup adalah 15°C, dan pertumbuhan yang optimal ada pada suhu 35-40°C

d. Kandungan nutrisi

Spirulina telah diketahui melalui berbagai pengujian memiliki beberapa kandungan nutrisi yang cocok sebagai makanan fungsional bagi makhluk hidup tak terkecuali manusia. Karena mengandung senyawa protein, asam lemak esensial, vitamin, mineral, dan klorofil serta fikosianin di dalam *Spirulina*. Banyak penelitian yang meyakini

juga bahwa *Spirulina* bisa bertindak sebagai produk makanan penyembuh atau obat. Nutrisi-nutrisi tersebut di antaranya adalah sebagai berikut:

Mineral

Jumlah mineral esensial yang dikandung oleh *Spirulina* berkisar antara 3-7%. Mineral-mineral tersebut terakumulasi di dalam mikroalga dan berasal dari mineral yang terkandung dalam media pertumbuhan dan juga dipengaruhi oleh suhu, salinitas dan pH. Sharma dan Azees (1988) menyatakan bahwa bioakumulasi kobalt (Co) dan seng (Zn) dipengaruhi oleh suhu budidaya yang berbeda. Sementara itu Gabbay *et al.* (1993) mencatat bahwa *Spirulina* yang berasal dari perairan laut memiliki kandungan natrium (Na) dan klorida (Cl) yang terakumulasi dalam jumlah tinggi pada selnya.

Protein

Spirulina telah diketahui dalam banyak penelitian bahwa memiliki kandungan protein yang tergolong tinggi yakni sekitar 55-70%. Protein merupakan suatu senyawa kompleks yang kaya akan asam amino esensial, seperti, metionin (1,3-2,75%), sistin (0,5-0,7%), triptofan (1-1,95%), dan lisin (2,6-4,63%). Kadar asam amino yang tinggi baik untuk kesehatan manusia karena merupakan salah satu bahan pembentuk protein.

Asam amino esensial

Poly Unsaturated fatty Acid (PUFA) yang dikandung *Spirulina* diketahui berkisar antara 1,3-15% dari lemak total (6-6,5%). Jenis lemak tertinggi yang terkandung dari *Spirulina* adalah *Gamma Linoleic Acid* (GLA) yakni diketahui berkisar antara 25-60% dari total lemak (Borowitzka, 1994; Li dan Qi, 1997). Senyawa-senyawa lain yang terdapat di dalam lemak adalah senyawa asam palmik (44,6-54,1%),

asam oleat (1-15,5%) dan asam linoleat (10,8-30,7%). *Spirulina* juga diketahui mengandung senyawa kolesterol sekitar 32,5 mg/100 g.

Betakaroten dan vitamin

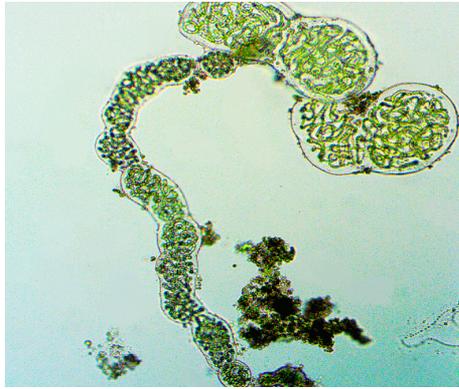
Spirulina telah diketahui melalui beberapa uji mengandung senyawa karotenoid yang tinggi dalam selnya. Karotenoid tertinggi yang ditemukan di *Spirulina* adalah jenis betakaroten yang bisa dikonversi menjadi vitamin A, dan vitamin B. Dengan kata lain, 4 mg kandungan gizi pada *Spirulina* sama dengan kandungan gizi yang terdapat pada 100g sayuran segar.

2. *Nostoc commune*

a. Klasifikasi

Klasifikasi *Nostoc commune* adalah sebagai berikut:

Domain : Bacteria
Filum : Cyanobacteria
Kelas : Cyanophyceae
Ordo : Nostocales
Famili : Nostocaceae
Genus : *Nostoc*
Spesies : *Nostoc commune*



Gambar 16. *Nostoc commune*
(Borowitzka, 2018)

b. Karakteristik

Nostoc commune Vaucher ex Bornet & Flahault telah diketahui akan manfaatnya baik bagi manusia maupun bagi lingkungan. Hal tersebut dikarenakan memiliki kandungan protein yang tinggi (20 – 60% per gram berat kering) dan juga mengandung asam amino esensial yang cukup lengkap (sedikitnya telah diketahui 8 asam amino esensial, yaitu: metionin, valin, fenilalanin, histidin, isoleusin, leusin arginin, dan lisin), *N. commune* telah lama dikenal dan dimanfaatkan oleh beberapa masyarakat di berbagai negara seperti negara China, Jepang, Filipina, Amerika dan Indonesia sebagai bahan makanan yang kaya protein (Trainor, 1978; Lee, 1989; Van Reine & Trono, 2001).

Selain bermanfaat atas kandungan protein dan asam aminonya, *N. commune* juga telah diketahui manfaatnya untuk menurunkan kadar kolesterol dalam darah (Mujib, 2012). Sedangkan bagi lingkungan, *N. commune* memiliki peran yang tak kalah penting dalam perbaikan kesuburan tanah, khususnya sebagai penyedia nitrogen dalam tanah. *N. commune* disebut menjadi agen penyedia nitrogen dalam tanah disebabkan oleh kemampuannya dalam mengikat senyawa nitrogen bebas di alam yang kemudian diubahnya menjadi senyawa amonia,

yang setelahnya akan dilepaskan ke tanah sekelilingnya untuk berikutnya dapat digunakan langsung oleh organisme lain. Selain itu dalam penelitian satu dekade terakhir, *N. commune* telah diketahui juga manfaatnya sebagai biomaterial pengikat bahan-bahan pencemar, khususnya senyawa berbahasa seperti logam berat, sebab spesies ini mengandung berbagai gugus anion seperti amino, karboksil, hidroksil dan karbonil yang menyediakan permukaan adsorpsi spesifik untuk ion-ion logam berat (Morsy *et al.*, 2011).

N. commune merupakan anggota dari Divisi Cyanophyta (algae hijau-biru), yang juga dikenal sebagai Cyanobacteria (bakteri hijau-biru). Anggota dari Divisi Cyanophyta ini banyak ditemukan tersebar luas di alam, salah satu spesiesnya yakni *Nostoc commune*. Spesies ini memiliki cakupan distribusi yang sangat luas yaitu dari daerah tropis hingga wilayah kutub (Whitton and Potts, 2000). Di Indonesia sendiri, *N. commune* banyak ditemukan di wilayah Hutan Wanagama, Gunung Kidul, Jawa Tengah. Di lokasi tersebut, spesies ini banyak ditemukan hidup secara berkoloni membentuk struktur makroskopis yang menyerupai Jamur Kuping yang menempel pada tanah atau bebatuan. Oleh masyarakat Gunung Kidul, koloni makroskopis dari *N. commune* sering disebut dengan sebutan Jamur Selo.

Pencemaran logam berat di lingkungan telah menjadi isu global, dikarenakan perkembangan industri yang terus berjalan dan menghasilkan limbah buangan dari proses industri tersebut, baik limbah berbentuk cair, limbah berbentuk padat maupun limbah berbentuk gas yang tentunya memberikan kontribusi dalam pelepasan unsur-unsur logam berat pada lingkungan. Salah satu logam berat yang merupakan sumber polusi dan perlu reduksi adalah logam kadmium (Cd). Logam kadmium tergolong dalam logam non esensial yang keberadaannya tidak dibutuhkan sama sekali dalam tubuh dan memiliki sifat toksik bagi makhluk hidup. Keberadaan logam kadmium yang bersifat toksik di lingkungan tentunya akan membawa dampak negatif bagi

lingkungan tersebut. Menurut Peraturan Pemerintah Nomer 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air diketahui bahwa baku mutu kadmium yang boleh dialirkan ke air permukaan hanya sebesar 0,01 mg/L. Keberadaan logam kadmium dalam lingkungan secara berlebihan akan menimbulkan dampak yang luas baik secara langsung maupun tidak langsung, sebab logam ini tergolong mudah diadsorpsi dan terakumulasi oleh dalam tubuh suatu organisme. Menurut Food and Agriculture organization (FAO) & World health organization (WHO) kadar kadmium yang dapat ditoleransi oleh tubuh manusia dewasa adalah sebesar 7 μ /kg berat badan (Sarjono, 2009). Keracunan logam berat kadmium dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti kanker, kerusakan sebagian sistem saraf yang menyebabkan kelumpuhan, serta menyebabkan kerusakan pada organ vital manusia yaitu hati dan ginjal.

Upaya untuk mengatasi pencemaran logam berat di lingkungan telah banyak dilakukan, salah satunya adalah dengan fikoremediasi. Fikoremediasi merupakan salah satu upaya pengaplikasian bioremediasi. Bioremediasi sendiri adalah upaya membersihkan lingkungan dari bahan pencemar dengan menggunakan agen-agen biologis. Pada fikoremediasi, agen biologis yang digunakan adalah algae, baik mikroalgae maupun makroalgae. Pemanfaatan algae sebagai fikoremediator memiliki beberapa kelebihan yaitu bahan bakunya mudah diperoleh karena banyak terdapat di alam, mudah dibudidayakan, dan memiliki biaya operasional yang relatif rendah. Menurut Arifin (2003), suatu fikoremediator dapat dikatakan murah apabila bahannya mudah didapat dan memerlukan sedikit proses sehingga memiliki biaya operasional kecil. Dengan demikian metode fikoremediasi dapat digunakan sebagai salah satu metode remediasi yang murah dan juga ramah lingkungan.

3. *Anabaena azollae*

Anabaena dapat bersimbiosis dengan *Azolla pinata* (paku air). Anabaena masuk dalam jaringan *Azolla pinata* melalui titik tumbuh. Paku ini dapat mengikat nitrogen (N_2) di udara dan mengubahnya menjadi amoniak (NH_3) yang tersedia bagi tanaman. Pada keadaan nitrogen terbatas, sel vegetatif akan berubah menjadi heterokista di sepanjang benang atau filamen yang secara khusus berfungsi memfiksasi nitrogen. Disini terjadi proses nitrogenase yang mengubah dinitrogen menjadi ammonium yang tersedia bagi tanaman. Dengan adanya simbiosis ini, maka *Azolla pinata* sangat bermanfaat sebagai pupuk organik untuk tanaman pertanian dalam mengurangi penggunaan pupuk kimia penyedia nitrogen yang ramah lingkungan. Dengan sifat *Azolla pinata* memiliki kelebihan mudah dibudidayakan. Maka paku ini sangat potensial untuk dikembangkan sebagai pupuk.



Gambar 17. Budidaya *Azolla* sp sebagai bahan pupuk
(Hartanto, 2019)

G. Jenis-Jenis Cyanophyceae yang Merugikan

1. *Microcystis aeruginosa*

Microcystis adalah golongan *blue-green algae* (Cyanobacteria) yang biasa tumbuh di permukaan air. Sel *Microcystis* tidak memiliki nukleus (inti sel) jelas, pigmennya tersebar di seluruh sel dan mempunyai pigmen biru di samping klorofil hijau. *Microcystis* berbentuk koloni bebas yang bentuk selnya bundar, kecil dan bergelatin. Sel-sel *Microcystis* memiliki diameter sekitar 2-8 μm .

Koloni-koloni *Microcystis* mengapung di permukaan air dan dapat dilihat dengan mata tanpa alat bantu apapun. *Microcystis* ditemukan pada berbagai jenis air terutama yang banyak kandungan unsur haranya. Jenis ini berkembang biak secara aseksual. ini kemudian tumbuh seperti bentuk dan ukuran induknya (Durr, 2006).

Microcystis dapat menghasilkan makanan sendiri dengan melakukan proses fotosintesis serta mempunyai gelembung gas (*gas vesicle volume/gvv*) yang berfungsi untuk mengapung di permukaan air. Pengapungan *Microcystis* diatur oleh beberapa mekanisme, seperti pengaturan tekanan ugor dan bentuk penyimpanan karbohidrat. Perubahan komposisi perbandingan protein dan karbohidrat saat pengapungan menunjukkan adanya hubungan yang kompleks antara cahaya dan unsur-unsur hara (Villareal & Carpenter, 2003). Regulasi sintesis vakuola gas adalah yang paling berpengaruh terhadap pengapungan *Microcystis* di permukaan air. Inilah kelebihan Cyanobacteria dibanding dengan fitoplankton yang lain. Pada air yang memutar, Cyanobacteria kehilangan daya apungnya, dan hal inilah yang digunakan untuk mengontrol peledakan mereka (Verspagen, 2006).

Tabel 1. Karakteristik Koloni Microcystis

Spesies	Karakter Koloni
<i>M. aeruginosa</i>	Tampak kasar, memanjang atau membulat dengan lubang tertentu, menyerupai jala, lapisan tepi koloni tidak terlihat di bawah mikroskop tanpa perlakuan, diameter sel sekitar 4-6,5 μm
<i>M. ichthyoblabe</i>	Halus, distribusi koloni bersifat homogen, berbentuk tak beraturan, tampak seperti spons, tepi koloni tidak beraturan dan tidak terlihat di bawah mikroskop tanpa perlakuan, diameter sel sekitar 2-3,2 μm
<i>M. novacekii</i>	Kecil dan kasar, tidak membulat, tersusun dari sekumpulan sel yang padat
<i>M. viridis</i>	Kasar, kecil, tersusun dari subkoloni yang berbentuk seperti kubus yang berisi 8 sel, tepi koloni biasanya terlihat di bawah mikroskop, tampak bergelombang pada populasi alami, diameter sel sekitar 4-7,9 μm
<i>M. wesenbergii</i>	Berbentuk seperti bola, memanjang, tepi koloni terlihat di bawah mikroskop, berlendir, sel tersusun dari satu lapisan di dalam bagian tepi atau berkumpul di tengah koloni, diameter sel sekitar 4-8,5 μm

Sumber: Otsuka *et al.* (2000)

M. aeruginosa adalah salah satu spesies dari *Blue Green Algae* (BGA, alga hijau biru) yang hidup di alam sebagai plankton. Dalam sistematika klasifikasi makhluk hidup, *M. aeruginosa* digolongkan sebagai bakteri dan/atau alga. *M. aeruginosa* memiliki klorofil dan pigmen lain sehingga mampu melakukan fotosintesis yang disertai pembentukan oksigen. Dengan demikian, digolongkan sebagai ganggang biru atau alga hijau biru, dengan klasifikasi menurut Sze (1993) sebagai berikut:

Sub Kingdom : Prokariota

Filum : Cyaniphyta

Kelas : Cyanophyceae
Ordo : Chlorococcales
Genus : *Microcystis*
Spesies : *Microcystis aeruginosa*



Gambar 18. Koloni *Microcystis aeruginosa* yang berasal dari danau Putrajaya, Malaysia (2.9419° N, 101.6891° E) di lihat pada mikroskop. (Nicholas *et al.* 2019)

Klasifikasi menurut sistem bakteri berdasarkan Holt *et al.* (1994), menempatkan *Microcystis aeruginosa* sebagai anggota kelompok Cyanobacteria yang merupakan *Oxygenic Photosynthetic Bacteria*. Penggolongan ini didasarkan pada mekanisme pembelahan sel yakni secara pembelahan biner (Tjitrosoepomo, 2003), tidak memiliki dinding inti sel (prokariot) serta struktur dinding sel gram negatif (Edhy, 1996). Selanjutnya, dalam perkembangan klasifikasi bakteri dan plankton, terdapat perbedaan pengklasifikasian alga hijau biru, namun masing-masing mempunyai dasar pertimbangannya, sehingga

ditemukan berbagai istilah untuk alga hijau biru yaitu 1) Schizophyta, karena berkembang biak dengan membelah diri; 2) Myxophyta, karena membentuk lendir yang menyelimuti sel; dan 3) Cyanophyta, karena memiliki pigmen fikosianin atau pigmen berwarna biru.

Inti sel *Microcystis aeruginosa* berbentuk partikel-partikel kromatin yang saling mengelompok. Pada bagian tengah selnya terdapat bagian yang tidak berwarna yang diketahui mengandung asam deoksiribonukleat dan asam ribonukleat. Struktur sel terdiri dari protoplasma di dalam dinding sel yang terbungkus selaput gelatin di bagian luarnya. Nilai persentase GC dari DNA yakni: 39,0 - 45,4. Struktur DNANYa berbentuk sirkular, tidak mempunyai kromosom, tidak mempunyai protein histon (Jochem, 2006).

Sel terdiri dari agregat berbentuk oval sampai *spherical*, memiliki kisaran ukuran 1-2 mikron (Sachlan, 1981). Pada beberapa referensi lain, disebutkan bahwa ukuran sel setiap individu lebih besar dari kelompok picoplankton yaitu berdiameter antara 2- 3 sampai 10 μm . Walaupun memiliki ukuran sel yang kecil, namun termasuk net plankton karena membentuk koloni dengan adanya lendir. Koloni berupa agregat dengan bentuk tidak beraturan.

Dinding sel bersifat gram negatif, mengandung peptidoglikan (Jochem, 2003), pektin, hemiselulosa dan selulosa (Sachlan, 1981). Dinding sel sebagian besar tersusun atas eksopolisakarida yang komposisinya serupa seperti pektin (Hoiczuk and Hansel, 2000). Lapisan lendir tebal, sehingga sulit dicerna oleh ikan bahkan masih tetap hidup walaupun telah keluar dari saluran pencernaan. Jenis ikan yang mampu mencerna umumnya berasal dari golongan Tilapia (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995; Sachlan 1981).

Pada bagian pinggir plasma terkandung zat warna: klorofil a, karotenoid dan dua macam kromoprotein yang larut dalam air yaitu: fikosianin (berwarna biru) dan fikoeritrin (berwarna merah). Pigmen tersimpan dalam kantung pipih bermembran (tilakoid) yang terletak

sejajar pada membran sitoplasma atau tergulung beberapa kali dalam ruang protoplasma perifer (Abercrombi dkk., 1993). Dengan adanya pigmen ini, *Microcystis aeruginosa* bersifat autotrof, dapat melakukan fotosintesis (Jochem, 2006) dan memberi warna hijau kebiruan atau hijau tua (ada yang mengistilahkan dengan hijau Madura) pada perairan (Edhy, 1996). Perkembangbiakan umumnya terjadi secara vegetatif (aseksual) dengan cara membelah diri (*cell division*) dan spora. Spora, tahan terhadap kondisi ekstrim seperti panas/kering dan bisa hidup dalam stadium ini dalam jangka waktu yang sangat lama hingga 50 tahun (Jochem, 1996).

Microcystis memiliki heterokista sehingga mampu memfiksasi N_2 bebas dari udara. Heterokista adalah sel terspesialisasi secara morfologi maupun fisiologi untuk fungsi fiksasi senyawa Nitrogen. Sel ini mempunyai dinding tipis, terhubung dengan bagaian vegetatif melalui pori dinding sel. Informasi genetik untuk membentuk nitrogenase terletak di dalam sel-sel ini (Jochem, 2006). Nitrogenase hanya dibentuk pada kondisi dimana enzim ini diperlukan, misalnya defisiensi nitrat dalam bentuk nitrogen terikat yang dapat diolah (NHA , NO_3) (Edhy dkk., 2003). Dengan kemampuan mengikat N_2 bebas dari udara serta kemampuan untuk tumbuh di kondisi ekstrim, maka Cyanobacteria mempunyai peranan yang besar di alam.

Microcystis mampu membentuk vakuola gas, sehingga memiliki daya apung yang baik (*bouyancy*) dan memudahkan naik ke lapisan kolom air dekat permukaan untuk mendapatkan sinar matahari guna melakukan proses fotosintesis (Paerl, 1998) sehingga dapat juga menghalangi proses fotosintesis pada fitoplankton lain serta menghalangi difusi oksigen dari udara bebas untuk masuk ke dalam badan air (Edhy dkk., 2003).

Menurut Jochem (2006), cadangan makanan untuk *Microcystis* biasanya dalam bentuk karbohidrat (*glycogen* atau *starch*) dan protein. Sachlan (1981) juga menambahkan bahwa cadangan makanan

Microcystis berupa *cyanophycean starch* (tidak bereaksi dengan lodin), butir-butir sianofisin (lipoprotein, terletak pada periferi) dan volatin (partikel polifosfat) yang fungsinya belum diketahui dengan jelas. Menurut Tjitrosoepomo (2003), sejenis zat cadangan yang hanya terdapat pada Cyanobacteria saja adalah granula sianofisin (lipoprotein) yang tersimpan dalam heterokista. Pada defisiensi nitrogen, zat ini berkurang dan pada perubahan sumber nitrogen, zat ini dapat meningkat lagi.

Microcystis aeruginosa diketahui mampu mengekskresi toksik peptida (microcystin atau cyanoginosin) (Chorus and Bartram, 1999) serta menghasilkan senyawa β -cyclocitral yaitu komponen yang umum diketahui dapat menyebabkan bau tanah pada ikan maupun udang yang dipelihara ketika hendak dikonsumsi (Kastitonif, 2002). *Microcystis aeruginosa* hidup pada lapisan mesotropik sampai eutrofik pada danau, sungai dan kolam serta melayang tepat di bawah permukaan air (Sachlan, 1981). Beberapa sumber mengatakan, alga ini dapat hidup pada perairan tawar hingga perairan laut serta merupakan alga thermoflik yang tumbuh baik pada suhu 35-40°C (Paerl, 1998).

Komponen dinding sel merupakan salah satu pembeda bagi plankton, selain pigmen utama dan cadangan makanan. Selain sebagai komponen sel, dinding sel berfungsi dalam pertahanan tubuh. Beberapa jenis Cyanobacteria menghasilkan struktur karbohidrat yang berbeda untuk merespon faktor lingkungan yang bervariasi. *Nostoc commune* menghasilkan selulosa sejenis fibril homoglukan yang beranyam silang dengan monosakarida. *Anabaena flos-aquae* mensintesis dua jenis polisakarida yang berbeda: 1) xiloglukan yang berisi glukosa dan xilosa dengan rasio molar 8: 1 serta 2) polisakarida kompleks berisi asam uronat, glukosa, xilosa dan ribosa pada rasio molar 10:6:1:1. *Microcystis* sp. mensintesa eksopolisakarida dengan komposisi seperti pektin, yang tersusun lebih dari 83 % asam galakturonat (Hoiczyc and Hansel, 2000).

Pektin sebagai unsur mayor pada penyusun dinding sel *Microcystis* sp., yakni heteropolisakarida kompleks terdiri dari dua bagian,

yaitu bagian halus dan bagian berbulu (de Vries *et al.*, 1999). Bagian halus, merupakan rantai (tulang punggung) terdiri dari residu a-1,4-galacturonic acid yang dapat mengalami asetilasi atau metilasi. Pada bagian berbulu, residu asam galakturonat pada rantai (tulang punggung), diselingi dengan residu a-1,2 rhamnose, juga rantai panjang arabian dan galactan. Rantai arabinan terdiri dari rantai utama yaitu residu a-1,5- arabinofuranosida yang dapat disubstitusi dengan a-1,3 arabinofuranosida dan dengan residu feruloyl yang dipotong pada O₂ terminal dari residu arabinosa. Rantai samping galactan berisi rantai utama yaitu residu 3-1,4-galaktopyranosida yang dapat disubstitusi dengan residu feruloyl pada 06. Kurang lebih 20-30% residu feruloyl pada pektin sugar beet dipotong menjadi rantai sisi arabinan, sedangkan residu feruloyl yang lain dipotong menjadi rantai sisi galactan (Guilon *and* Thibault 1989). Daerah berambut juga berisi ikatan ester golongan aetyl menjadi residu galacturonic acid dari rantai utama (Scols *and* Voragen, 1984).

a. Kejadian *blooming Microcystis aeruginosa* pada perairan

Pada perairan, terutama perairan tawar di seluruh dunia, Cyanobacteria sering menimbulkan masalah bila dalam keadaan *blooming*. Sebagai contoh yang terjadi pada USA dan negara-negara di Afrika dilaporkan sering terjadi kematian ikan dan ternak yang telah mengkonsumsi air dari waduk atau kolam yang mengalami *blooming Microcystis aeruginosa* bersamaan dengan adanya proses pembusukan. Kasus kematian masal ikan, udang, kepiting, kerang dan remis juga pernah terjadi di Teluk Jakarta pada tanggal 9 - 10 Mei 2004 berdasarkan hasil pengamatan Kelompok Budidaya Laut, Puslit Oseanografi, LIPI, yang ternyata diakibatkan oleh *blooming* Cyanobacteria yang menghasilkan racun *Cyanobacterial Toxin Poisoning* dan mencemari perairan (Panggabean, 2004). Bila dalam perairan terjadi *blooming*

Microcystis aeruginosa, plankton jenis lain relatif tidak ditemukan, walaupun ada, umumnya kepadatannya sangat rendah (Sachlan, 1981).

Kejadian *Blooming Microcystis aeruginosa* di suatu perairan dapat terjadi sebagai akibat kombinasi beberapa faktor yang saling mendukung, di antaranya adalah stagnasi perairan, stratifikasi perairan, penumpukan bahan organik diikuti pH air yang tinggi dan rasio C:N rendah. *Microcystis aeruginosa* dapat mendominasi perairan yang mempunyai aliran tenang serta banyak hidup pada air yang kaya Nitrogen dan Fosfor (Sachlan, 1981), karena nutrient-nutrien tersebut mampu merangsang pertumbuhan alga dalam waktu relatif cepat, dan apabila terjadi *blooming*, menandakan bahwa perairan memiliki konsentrasi senyawa Nitrat dan Fosfat yang tinggi serta rasio N/P yang rendah (Boyd, 1979).

Stagnasi perairan didefinisikan sebagai kondisi dimana perairan kurang atau bahkan tidak mengalami aerasi, pengadukan dan pergerakan baik secara vertikal maupun horizontal. Kondisi ini menyebabkan terjadinya stratifikasi vertikal pada badan air. Stratifikasi pada badan air menyebabkan oksigen terlarut pada lapisan bawah air serta nutrisi pada lapisan muka air berkurang. Kondisi ini menyebabkan plankton golongan Cyanobacteria berusaha naik ke permukaan perairan, dengan bantuan heterokista atau vakuola gas untuk mengambil nitrogen bebas dari udara. Sifat ini adalah salah satu kelebihan Cyanobacteria yang tidak dimiliki oleh plankton dari jenis lain. Dengan demikian, pada kondisi ini, Cyanobacteria memiliki peluang untuk dapat tumbuh pesat dibanding plankton lain dan akhirnya mendominasi perairan (Hadie, 2002).

Penumpukan bahan organik mengakibatkan komposisi nutrisi menjadi tidak seimbang dan rasio N:P menjadi rendah (Hariyanto, 2001). Kondisi rasio N:P perairan yang rendah akan memberi kesempatan Cyanobacteria untuk berkembangbiak. Karena pada kondisi rasio N:P rendah ini (yang berarti kadar N terlalu rendah), enzim nitrogenase

pada heterokista Cyanophyceae akan aktif dan berfungsi memfiksasi nitrogen dari udara. Kemampuan ini tidak dimiliki oleh plankton lain. Dengan demikian jenis plankton lain mengalami kekalahan dalam bersaing untuk tumbuh dan dominasi oleh Cyanophyceae dapat terjadi.

Selain kedua faktor dominan diatas (stagnasi perairan dan penumpukan bahan organik), blooming *Microcystis aeruginosa* didukung oleh beberapa kondisi yaitu: pH perairan tinggi, CO₂ tinggi, salinitas rendah (< 10 ppt) serta suhu perairan tinggi (> 29°C) (Koeswandi, 2001). Sachlan (1981) menambahkan, *blooming Microcystis aeruginosa* dapat terjadi dengan dipacu oleh kondisi Ca dan pH tinggi (Sachlan, 1981).

b. Dampak Buruk Kejadian *Blooming Microcystis Aeruginosa* terhadap Kualitas Perairan

– Nilai nutrisi pakan alami dalam perairan menjadi rendah

Di dalam ekosistem perairan, *Microcystis aeruginosa* relatif sulit dimanfaatkan sebagai sumber makanan oleh zooplankton karena koloni terlalu besar untuk dimakan, sulit dicerna, beracun dan kualitas sebagai makanan kurang baik (Edhy 1996). *Microcystis* kurang disukai ikan dan sulit dicerna. Selain kandungan selulosa hemiselulosa, lignin dan pektin yang menyusun dinding sel, jenis plankton ini menghasilkan lendir yang sulit dicerna ikan, bahkan masih hidup setelah keluar dari saluran pencernaan (Isnansetyo dan Kurniastuti, 1995).

– Oksigen terlarut dalam perairan menjadi rendah

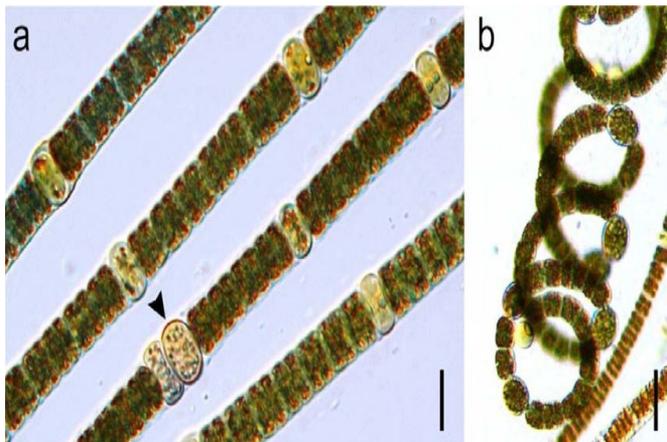
Dalam kondisi intensitas cahaya sangat terbatas untuk fotosintesis dan tidak ada pengadukan kolom air, *Microcystis* dapat membentuk suatu lapisan seperti klekap pada permukaan air. Hal ini akan menurunkan input oksigen ke dalam air, karena proses difusi oksigen dari atmosfer ke dalam air terganggu dan produksi oksigen terbatas pada kolom air dekat permukaan. Oksigen yang dihasilkan dekat permukaan perairan mudah hilang ke udara dan tidak dapat dimanfaatkan oleh organisme dalam perairan (Edhy, 1996).

Kondisi kandungan oksigen terlarut yang rendah berlanjut setelah *Microcystis aeruginosa* mengalami kematian. Produksi oksigen relatif terhenti karena fotosintesis oleh *Microcystis aeruginosa* terhenti. Sejalan dengan hal tersebut, proses dekomposisi terhadap *Microcystis aeruginosa* yang mati juga mengurangi kandungan oksigen terlarut dalam perairan (Paerl, 1988). Akibat hal tersebut, kebutuhan oksigen terlarut bagi organisme perairan tidak tercukupi, bahkan dapat mengakibatkan kematian masal akibat kekurangan oksigen (Edhy, 1996).

2. *Nodularia* sp.

1. Klasifikasi

- Domain : Bacteria
- Filum : Cyanobacteria
- Kelas : Cyanophyceae
- Ordo : Nostocales
- Famili : Aphanizomenonaceae
- Genus : *Nodularia*
- Spesies : *Nodularia spumigena*



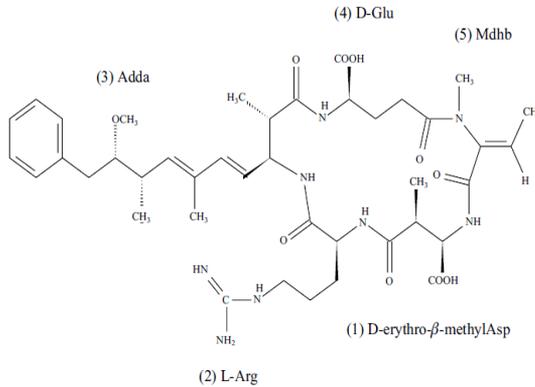
Gambar 19. *Nodularia spumigena*, tanda panah menunjukkan akinetes (skala: 10 μm) (McGregor, 2012)

2. Karakteristik

Nodularia spumigena adalah cyanobacterium berfilamen, planktonik, fotosintesis, diazotrofik, pembentuk mekar. Biasanya ditemukan di perairan asin atau payau. Ini adalah salah satu spesies yang mendominasi selama mekar cyanobacterial yang luas di Laut Baltik, yang merupakan salah satu yang terbesar di dunia. Itu juga ditemukan di Danau Alexandrina, di tenggara Australia selatan. Wabah yang didokumentasikan pertama kali dicatat oleh Francis pada tahun 1878. Ini biasanya ditemukan di dekat permukaan air karena memiliki toleransi yang tinggi terhadap radiasi ultraviolet (Hubson *et al.*, 2003)

Pengurutan genom saat ini sedang berlangsung di Proyek Pengurutan Genom Mikroba Yayasan Gordan dan Betty Moore, tetapi belum selesai. Panjang DNA adalah 5.316.258 nt (5 Mb). Konten GC adalah 42,0%. Ada 4860 gen yang dikodekan dan 80% genom dikodekan. Jumlah kromosom dan bentuk genom belum diketahui (Tuomainen *et al.*, 2006).

Nodularia spumigena memiliki metabolisme fotosintesis. Ini memiliki struktur berfilamen termasuk sel yang membesar yang disebut heterocysts. Heterokista ini adalah sel khusus untuk fiksasi nitrogen atmosfer. Tidak ada fotosintesis yang terjadi pada sel-sel khusus ini. Ini bertanggung jawab atas sebagian besar masukan nitrogen baru ke Laut Baltik. Mycosporine like amino acids (MAA) diproduksi sebagai strategi foto-produktif melawan radiasi ultraviolet. Hal ini memungkinkan organisme tersebut hidup lebih dekat ke permukaan air, sedangkan cyanobacteria lainnya harus hidup di perairan yang lebih dalam (Huber, 1985; Mazur-Marzec, 2005).



Gambar 20. Struktur kimia racun Nodularins (NOD)
(Fresenborg, *et al.* 2020)

Nodularia spumigena menghasilkan hepatoksin nodularin. Hepatotoxins adalah racun yang mempengaruhi hati. Nodularin adalah promotor tumor yang diketahui telah membunuh hewan liar dan domestik dengan mempengaruhi hati secara serius. Ini adalah karsinogen hati karena penghambatan protein fosfat. Penelitian difokuskan pada faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi toksin. Tingkat salinitas yang lebih tinggi dan radiasi ultraviolet yang lebih rendah menyebabkan lebih banyak produksi toksin nodularin (Staal *et al.*, 2003; Vuorinen, 2008).

H. Dampak Negatif Cyanophyceae

Beberapa spesies Cyanophyceae dapat menghasilkan metabolit sekunder yang dikenal sebagai cyanotoxins, yang sangat berbahaya bagi hewan air dan darat. Beberapa spesies Cyanophyceae memproduksi neutrotoksin, hepatotoksin, sitotoksin, dan endotoksin, membuat mereka berbahaya bagi hewan dan manusia. Beberapa cyanotoxins (seperti cylindrospermopsin) mungkin secara konstan dilepaskan selama pertumbuhan Cyanophyceae, namun sebagian besar senyawa berpindah langsung dari sel-sel Cyanophyceae ke air sekitar. Efek toksik

dari berbagai cyanotoxins diketahui pada mamalia: manusia, sapi, anjing, dan organisme air seperti bakteri, ganggang, tanaman tingkat tinggi, invertebrate dan vertebrata seperti ikan (Zimba *et al.*, 2006).

Cyanophyceae menghasilkan sejumlah metabolit melalui proses metabolisme sekunder, beberapa di antaranya bisa sangat berbahaya (toksin). Toksin Cyanophyceae (cyanotoxin) dapat dirilis ke dalam air selama mereka mengalami penuaan hingga lisis. Banyak organisme air, terutama ikan, dapat langsung terpapar cyanotoxin yang larut dalam air (Drobac *et al.*, 2016). Toksin ini termasuk hepatotoksin seperti microcystin, nodularin dan cylindrospermopsin, neurotoksin seperti anatoksin, lyngbyatoksin dan β -N-methylamino-L-alanin (BMAA) (Downing *et al.*, 2015).

Cyanotoxin yang dihasilkan oleh spesies plankton air tawar ini terbukti terakumulasi di banyak organisme akuatik (Ibelings and Havens, 2008). Mayoritas studi ini telah berfokus pada microcystins. Selain bioakumulasinya di organisme akuatik, cyanotoxin dapat memiliki efek negatif pada organisme air mulai dari kerusakan hati yang parah, stres oksidatif, menghambat proses pertumbuhan dan keberhasilan reproduksi (Malbrouck and Kestemont, 2006; Ibelings and Havens, 2008).

Pemaparan racun Cyanophyceae terhadap ikan dapat terjadi melalui berbagai cara, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan ikan, perkembangan, histologi, reproduksi serta kelangsungan hidup (Li *et al.*, 2004; Palikova *et al.*, 2004; Deng *et al.*, 2010; Svircev *et al.*, 2015). Paparan cyanotoxin pada ikan dapat terjadi dalam dua cara: cara pertama adalah secara aktif dengan rute oral melalui air yang diminum ikan dan konsumsi sel Cyanophyceae dan organisme lain yang telah terakumulasi cyanotoxin. Cara lain yang potensial adalah cara pasif, yaitu melalui kontak langsung dengan epitel insang dan air sekitarnya yang mengandung racun. Kedua jenis paparan dapat terjadi pada kondisi alam (Malbrouck and Kestemont, 2006).

1. Jenis-Jenis Racun Cyanophyceae (Cyanotoksin)

Banyak spesies dari Cyanophyceae yang memproduksi RACUN berbahaya bagi ekosistem perairan maupun hewan terestial yang memanfaatkan air tersebut. Salah satunya adalah *Aphanizomenon* yang mampu menghasilkan *neurotoxin*, yaitu racun yang mengganggu sistem syaraf (Edhy, 1996). Oberholster *et al.* (2004) mendapatkan bahwa, *Microcystis aeruginosa* di Afrika menghasilkan racun yang mencemari sumber air minum dan yaitu microcystin hepatotoksin menyebabkan kematian pada ternak dan manusia. Beberapa genus Cyanobacteria yang diketahui mampu memproduksi toksin di antaranya adalah *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrosperopsis*, *Gloeotrichia*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Nodularia* dan *Oscillatoria* Alalik.

Berikut beberapa racun yang telah berhasil diketahui dihasilkan oleh beberapa genus dari Cyanobacteria (Tabel 1.), semua jenis racun yang diketahui tersebut dapat berdampak buruk juga bagi manusia, hewan terestrial dan hewan air golongan vertebrata maupun invertebrate (Chorus and Bartram, 1999).

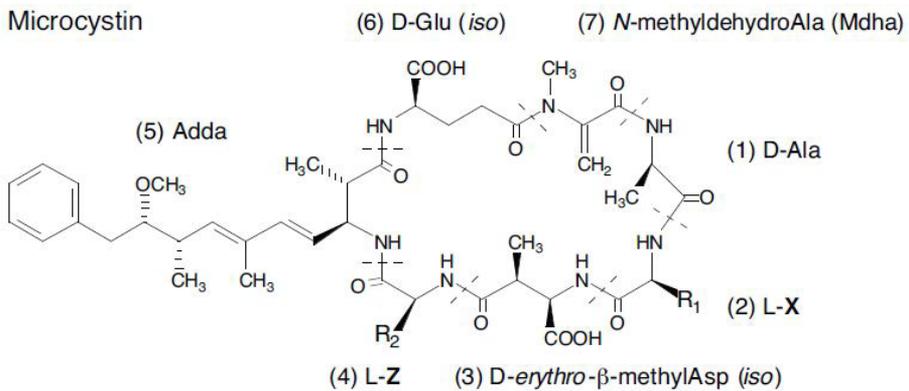
Tabel 2. Beberapa jenis racun yang dihasilkan Cyanobacteria (Cyanotoxin)

Golongan racun	Organ yang diserang	Genus penghasil
Cyclic peptida		
Microcystins	Liver	<i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Hapalosiphon</i> , <i>Anabaenopsis</i>
Nodularin	Liver	<i>Nodularia</i>
Alkaloids		
Anatoxin-a	Sinapsis syaraf	<i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i> , <i>Aphanizomenon</i>
Anatoxin-a (S)	Sinapsis syaraf	<i>Anabaena</i>
Aplysiatoxins	Kulit	<i>Lyngbya</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i>

Cylindrospermopsins	Liver	<i>Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, Umezakia</i>
Lyngbyatoxin-a	Kulit, saluran pencernaan	<i>Lyngbya</i>
Saxitoxins	Axon syaraf	<i>Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis</i>
Lipopolysaccharides (LPS)	Iritan yang menyerang jaringan	<i>Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Aphanizomenon, Lyngbya, Schizothrix, Cylindrospermopsis, Umezakia, Microcystis, Nostoc, Hapalosiphon, Anabaenopsis, Nodularia</i>

a. **Microcystin**

Microcystin disebutkan oleh Butler *et al.* (2009) merupakan peptida siklik yang mengandung tujuh asam amino. Mikrocyistin dibagi menjadi beberapa jenis racun, yaitu 1) Microcystin LA, 2) Microcystin YR, 3) Microcystin RR, 4) Microcystin LR. Microcystin diproduksi oleh sel-sel Cyanobacteria. Ketika alga mati, dinding sel pecah dan melepaskan racun ke dalam air. Microcystin dapat bertahan dari kerusakan kimia seperti hidrolisis atau oksidasi. Racun ini dapat terurai secara perlahan pada suhu tinggi (40°C), pH yang rendah (<1) atau pH yang tinggi (>9). Microcystin bahkan dapat bertahan setelah dididihkan, hal ini menunjukkan bahwa suhu yang tinggi (100°C) tidak cukup untuk menghancurkan racun. Microcystin dapat mempengaruhi hati, menyebabkan kerusakan yang bervariasi tergantung pada jumlah toksin yang diserap.



Gambar 21. Struktur kimia Microcystin. (Meriluoto and Codd, 2005)

Konsentrasi microcystin terlarut adalah kumpulan dari beberapa faktor seperti pengenceran, degradasi kimia yang dipercepat oleh suhu dan pH yang ekstrim, fotodegradasi, adsorpsi terhadap partikel dan biodegradasi (Meriluoto dan Codd, 2005). Microcystin-LR merupakan hepatotoksin yang paling beracun (Morales-cuarrubias *et al.*, 2016).

2. Kasus Penyakit Haemocytic Enteritis atau Feses Putih pada udang akibat Cyanotoxin

Kasus racun Cyanobacteria yang sering terjadi menyerang komoditas budidaya tambak di Indonesia salah satunya menyebabkan penyakit feses putih pada udang yang dibudidayakan. Penyakit ini dikenal sebagai penyakit “kotoran putih” atau *White Feces Disease* (WFD) atau dapat juga disebut *Haemocytic Enteritis* (HE), umumnya kejadian ini selalu terjadi setelah udang berumur satu bulan sampai menjelang panen (Edhy, 1996).

Gejala serangan penyakit ini adalah banyak kotoran putih mengapung dan mengumpul di pojok tambak yang berhadapan dengan arah angin. Beberapa saat setelah ditemukan kotoran putih, udang segera mengalami kematian. Udang yang terinfeksi ditandai berwarna coklat kusam, lemah, keropos, menempel pada dinding tambak, usus

kosong dan nafsu makan menurun drastis sehingga lambat laun mati (Hadie, 2002).

Penyakit kotoran putih telah diketahui dan umumnya disebabkan oleh gabungan akibat racun Cyanobacteria, bakteri *Vibrio parahaemolyticus* yang mengakibatkan kerusakan hepatopancreas dan HPV (*Hepatopancreatic Parvo Like Virus*) (Hadie, 2002). Goldman (1988), mengemukakan beberapa jenis blue green algae dapat menghasilkan racun yang merusak jaringan mukosa usus dan mengakibatkan penyakit kotoran putih yaitu *Toxin 2 Acetyl; -9 - Azabicyclonon - 2 - Ene* yang merupakan derivat dari *N-Acetyl, Saxitoxin* dan toxin sejenis polipeptida. Akibat kerusakan jaringan mukosa usus, maka terjadi gangguan proses penyerapan makanan dan kotoran yang dihasilkan berwarna putih (Hadie, 2002).

3. Penyimpangan rasa (*Off-flavor*) akibat Cyanotoxin

Penyimpangan rasa (*off-flavor*) didefinisikan sebagai bau atau rasa yang tidak sebagaimana mestinya pada daging ikan atau udang yang dibudidayakan (Haryono 2001). Penyimpangan rasa dapat berupa citarasa lumpur/tanah, kayu atau rasa lain yang tidak enak. Pada tambak udang, *off-flavor* sering terjadi pada saat musim hujan dimana salinitas turun sampai 2-3 ppt atau kurang dan kelimpahan BGA meningkat (Lovell and Borce, 1985).

Tambak yang mengalami *off-flavor* sering kali ditandai dengan Cyanobacteria yang mengambang di permukaan air serta adanya penumpukan bahan organik di dasar tambak. Pergantian air yang kurang, diketahui menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya *off-flavor* (Edhy, 1996). Haryono (2001), mendiskripsikan *Off-flavor* sebagai berikut:

Tabel 3. Beberapa kategori off-flavor akibat Cyanotoxin

Kategori	Deskripsi Bau
Dapat diterima	Seperti kacang, ayam, jagung, mentega.
Sayuran	Seperti seledri, jamur, bawang.
Busuk	Seperti telur busuk, belerang, kotoran, sayuran busuk, apek.
Tanah/Lapuk	Seperti tanah/cita rasa lumpur dan lapuk.
Kayu/Pinus	Seperti kayu/pinus.
Lemak teroksidasi	Seperti kardus, minyak ikan, cat.

Tabel 4. Tingkat Kondisi off-flavor akibat Cyanotoxin

Tingkat	Keterangan
Tingkat 0	Dapat diterima konsumen, off-flavor tidak terdeteksi dari rasa sampel
Tingkat 1	Off-flavor dalam tingkat permulaan, terdeteksi dengan merasakan
Tingkat 2	Off-flavor sudah jelas, terdeteksi dengan merasakan
Tingkat 3	Off-flavor terdeteksi dari bau sample yang direbus
Tingkat 4	Off-flavor terdeteksi dari bau sample mentah

Cita rasa lumpur pada ikan merupakan masalah serius pada beberapa negara yang membudidayakan ikan dan udang. Menurut Lovell and Sackey (1973) *catfish* yang dibudidayakan secara intensif di USA juga mempunyai cita rasa lumpur, akibat *Actinomyces* dan alga hijau biru lainnya. Kamalakkannan (2004), juga menyatakan bahwa penyebab cita rasa lumpur di India adalah *Actinomyces*. Cita rasa lumpur di Indonesia, sering didapatkan pada budidaya bandeng di daerah Gresik dan Lamongan (Trisyani, 1997), juga pada udang dan ikan lainnya (Edhy, 1996; Edhy, dkk., 2003; Kastitonif, 2002). Penelitian yang telah dilakukan Trisyani (1997) mendapatkan korelasi positif antara kelimpahan *Microcystis aeruginosa* dengan cita rasa lumpur pada

daging ikan bandeng dari tambak yang berasal dari daerah Lamongan dan Gresik.

Avault (1996) menyatakan bahwa penyebab cita rasa lumpur pada ikan adalah senyawa yang dihasilkan beberapa spesies alga hijau biru, yang diabsorpsi oleh membran insang. Selanjutnya, menurut Lelana (1993), penyebab cita rasa lumpur pada ikan adalah senyawa metabolit yang dikeluarkan oleh alga hijau biru yang disebut:

- Geosmin memiliki nama kimia *trans-1, 10-dimethyl-trans-9-decalol* (Sarawad 2004 dan Edhy, 1996). Rumus molekul geosmin adalah $C_{12}H_{22}O$ (Kastitonif, 2002). Menurut Gerber (1979), geosmin digambarkan sebagai minyak yang tidak berwarna, terlihat jika disimpan dalam waktu yang lama dan tidak stabil pada lingkungan asam.,
- MIB atau *2-methyl isobomneol (1,2,7,7-Tetramethyl-Exobicyclo [2.2.1] Heptan 2-01)* (Edhy, 1996). Rumus molekul MIB adalah $C_{11}H_{20}O$ (Kastitonif, 2002)., dan
- *Mucidone* dengan rumus molekul $C_{16}H_{30}O_2$ (Kastitonif, 2002).

Beberapa peneliti terdahulu seperti Lowell (1999), Tabachek and Yorkowski (1996), Person (1999) dan juga Edwards (2005) menyatakan bahwa geosmin diproduksi oleh alga hijau biru pada kolam budidaya ikan dan pada lingkungan payau. Genus alga hijau biru yang umum terdapat pada kolam tambak di daerah tropis dan subtropis adalah spesies *Anabaena*, *Aphanizomenen* dan *Microcystis* yang dicirikan dengan warna perairan hijau pekat (James and Ottey, 1996).

Hasil penelitian Lovell and Sackey (1973) membuktikan bahwa geosmin merupakan metabolit ekstraseluler yang dihasilkan alga ke perairan, kemudian diserap oleh ikan dan udang melalui insang mereka. Smith (1993) juga menambahkan bahwa penyerapan geosmin dapat terjadi melalui insang, saluran pencernaan maupun kulit organisme perairan. Front dan Horiyk (1994) telah menyatakan bahwa bagian tubuh organisme perairan yang paling cepat menyerap senyawa

geosmin adalah insang (6 menit), selanjutnya kulit (1,5 jam), usus kecil (4 jam), dan perut (7 jam).

4. Efek Cyanotoxin terhadap Komunitas Zooplankton dan Fitoplankton Lain dalam Perairan

Racun Cyanobacteria berpengaruh terhadap pola makan, pertumbuhan, tingkah laku dan kelangsungan hidup mikro dan mesozooplankton. Fulton and Paerl's (1987) mengatakan bahwa *Microcystis aeruginosa* pada konsentrasi 10^4 sel/ml menyebabkan toksik dan berpengaruh pada populasi golongan *Rotifer* yaitu *Karatela mixta* dan *Bosmina longirostris*. Beberapa studi tentang efek inhibisi *Microcystis aeruginosa* seperti Penazola *et al.* (1990) menunjukkan bahwa metabolit ekstraseluler yang dihasilkan bersifat toksik terhadap beberapa *Rotifer*, *Copepoda* dan *Cladocera*. De Mott *et al.* (1991) mendapatkan bahwa *Copepoda* lebih sensitif terhadap microcystin dibanding *Cladocera*. Ahlgren *et al.* (1990) menambahkan bahwa nilai nutrisi beberapa zooplankton menjadi rendah bila tumbuh pada perairan dengan *blooming Microcystis aeruginosa* karena komposisi beberapa asam lemak berkurang.



Gambar 22. Kenampakan perairan tambak yang mengalami blooming Blue Green Algae (Ramadina, 2021)

Kondisi yang mendukung *blooming Microcystis aeruginosa*, umumnya menyebabkan kepadatan fitoplankton jenis lain menurun. Sebagai contoh stratifikasi perairan dan kekurangan senyawa Nitrogen menyebabkan plankton lain tidak dapat melakukan fotosintesis. Sementara *Microcystis aeruginosa* dapat mengapung dengan bantuan vakuola gas dan melakukan fiksasi Nitrogen dari udara dengan bantuan heterokista (Sachlan, 1981). Dengan demikian, plankton lain mati, sedangkan *Microcystis aeruginosa* akan berkembang pesat dan menjadi dominan dalam perairan tersebut.

I. Pengaruh Racun Microcystin

1. Pengaruh terhadap Manusia

Berbagai racun yang diproduksi organisme air tawar dan dan laut dikenal sangat mempengaruhi fisiologi tanaman, ikan, mamalia, dan invertebrata. Butler *et al.* (2009) mengatakan bahwa microcystin yang terdapat pada perairan dan telah tertelan organisme, maka secara aktif racunnya akan diserap ke dalam tubuh organisme tersebut. Microcystin juga terakumulasi pada ikan yang telah ditangkap dan dimakan oleh manusia. Meriluoto dan Codd, (2005) menyebutkan bahwa paparan microcystin tidak hanya melibatkan air minum, tetapi juga konsumsi hewan atau tumbuhan yang mengandung racun (telah terpapar racun). Efek dari paparan microcystin paling umum pada manusia yaitu kerusakan hati. Microcystin ditemukan dalam air serta darah dan hati manusia.

Secara umum, microcystin adalah racun hati. Setelah paparan racun microcystin, sel sel dalam hati (hepatosit) kehilangan koneksi satu sama lain dan mengganggu arsitektur normal hati. Microcystin menghambat enzim dalam hati, yaitu protein fosfatase. Enzim ini menghilangkan fosfat dari protein. Setelah penghambatan enzim ini, protein terfosforilasi selanjutnya akan menumpuk yang diyakini merusak kerja hati. Microsystin sendiri dalam beberapa penelitian

disebutkan dapat bertindak sebagai promotor tumor, agen yang tidak menyebabkan kanker, tetapi merangsang proliferasi kanker. Namun ekstrak microcystin tidak bersifat karsinogenik. Sebuah kasus disebutkan oleh Morales-cuvarrubias, *et al.* (2016), bahwa paparan microcystin menyebabkan gatal pada kulit, iritasi mata, dan jika tertelan mungkin mengalami gejala demam, pusing, kelelahan dan gastroenteritis akut.

Dari sisi keamanan pangan, cemaran microcystin pada manusia bisa ditularkan melalui rantai makanan baik sayuran dari air irigasi tercemar, maupun produk budidaya pada perairan tercemar yang dikonsumsi manusia atau kontak melalui kulit selama kegiatan berwisata. Tahun 2003, toksin yang sama ditemukan pada otak 9 orang penderita Alzheimer di Kanada, yang ternyata diketahui bahwa suplemen makanan dari ganggang yang dikonsumsi tercemar cyanotoksin penghasil racun. Produk serupa juga ditemukan di Jerman dan Swiss, mengandung microcystin-LR. Health Canada, Food Research Division Banting Research Center di Ontario memonitor 100 sampel makanan suplemen Spirulina dalam bentuk pil, kapsul dan bubuk di pasaran, dan menemukan microcystin pada makanan suplemen dari plankton yang hidup di perairan yang tercemar Cyanobacteria beracun.

2. Pengaruh terhadap Ikan dan Udang Vaname

Dalam lingkungan air, ikan bisa dalam terpapar oleh cyanobacteria dan racun yang dihasilkan melalui berbagai cara,. Racun tersebut dapat mempengaruhi pertumbuhan ikan, perkembangan, histologi, reproduksi serta kelangsungan hidup (Li *et al.*, 2004; Palikova *et al.*, 2004; Deng *et al.*, 2010; Svircev *et al.*, 2015). Paparan cyanotoxin pada ikan dapat terjadi dalam dua cara: cara pertama adalah secara aktif dengan rute oral melalui air yang diminum ikan dan konsumsi sel *Cyanobacteria* dan organisme lain yang telah terakumulasi cyanotoxin. Cara lain yang potensial adalah cara pasif, yaitu melalui kontak langsung dengan

epitel insang dan air sekitarnya yang mengandung racun. Kedua jenis paparan dapat terjadi pada kondisi alam (Malbrouck and Kestemont, 2006).

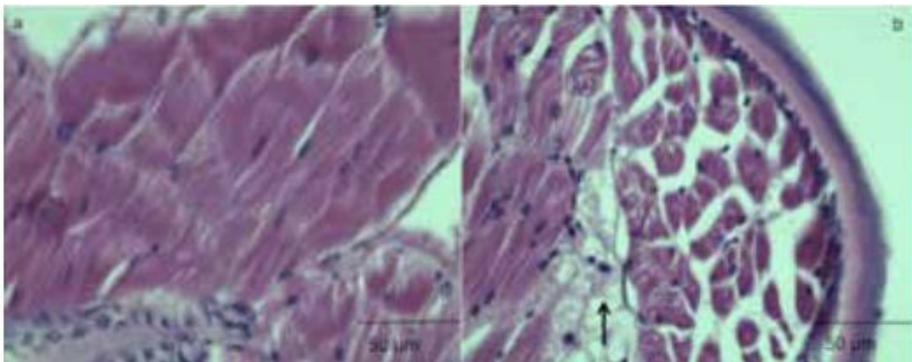
Udang yang menelan *Cyanobacteria* beracun telah dilaporkan menginduksi enteritis hemocytic, yaitu penyakit di mana lapisan epitel usus tengah rusak dan lapisan mukosa yang sehat digantikan oleh sel-sel nekrotik dan lapisan hemosit inflamasi (Lightner, 1978). Efek akut dari cyanobacteria dan bioakumulasi toksinnya juga berkontribusi menengah untuk produktivitas jangka panjang budidaya udang melalui penghambatan pertumbuhan hingga kematian, ditambah lagi masalah pada saat pemasaran udang tersebut, terindikasi *off-flavors* (bau lumpur) dan perubahan warna (Kankaanpää *et al.*, 2005).

Kasus kematian massal udang putih di Texas, mendapatkan bahwa pada air, sedimen dan jaringan otot serta hepatopankreas mengandung racun microcystin-LR. Komunitas plankton tersebut didominasi oleh Cyanoprokaryota, terutama *Microcystis aeruginosa* dan *Anabaena* sp. Sampel air dari kolam yang terkena juga mengandung kadar tinggi microcystin-LR (45 µg/l), sedangkan kolam yang berdekatan yang memiliki komunitas plankton berupa diatom dan alga hijau, tidak mengandung racun microcystin (Zimba. *Et all*, 2006).

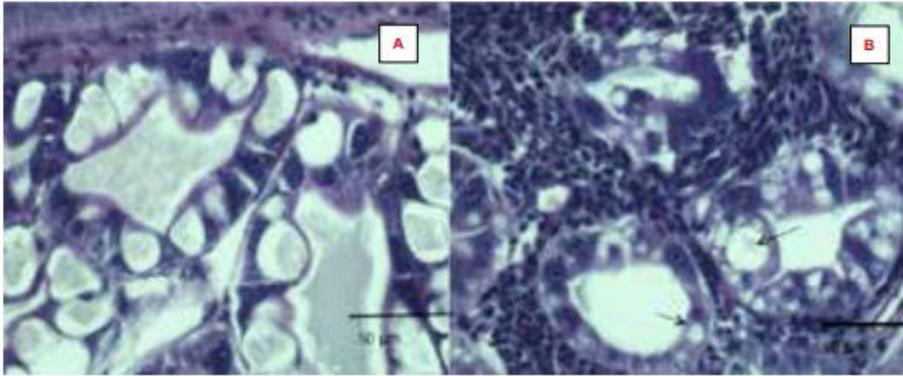
Microcystin dalam Butler *et al.* (2009) merupakan racun bagi biota perairan pada kondisi racun serendah beberapa microgram per liter (µg/L). Udang atau ikan dapat menyerap racun langsung dari air pada tingkatan racun yang rendah. Ikan atau udang biasa memakan Cyanobacteria atau memangsa biota yang memakan Cyanobacteria. Seperti mamalia, microcystin secara aktif menyerang hati ikan atau udang, mereka mengganggu aktivitas seluler normal dengan menghambat protein fosfatase. Penghambatan enzim ini pada ikan dan udang menyebabkan kematian sel yang meluas dan menghilangkan struktur pada hati. Protein fosfatase berperan penting selama

perkembangan embrio, berfungsi mengatur proses perkembangan embrio.

Efek dari paparan microcystin pada ikan dan udang yaitu stress, kerusakan hati, malformasi berat, ketidakseimbangan osmoregulasi, dan penurunan kelangsungan hidup (Butler, *et al.* 2009). Microcystin dalam Zimba, *et al.* (2006), memiliki peran dalam pembentukan tumor, mencegah pembentukan kitin serta menyebabkan kerusakan neurologis. Disebutkan pula bahwa udang yang terkena racun memiliki jaringan hepatopankreas yang membengkak bila dibandingkan dengan udang sehat. Dalam Morales-cuarrubias, *et al.* (2016), menunjukkan bahwa racun microcystin mampu merusak kelenjar antennal, insang, hepatopankreas, organ limfoid, otot dan sekorsum dorsal yang menyebabkan kematian pada udang vaname. Efek dari toksisitasnya yaitu mengganggu mobilisasi nutrisi dalam tubulus hepatopankreas, respirasi, keseimbangan asam-basa, dan ekskresi ammonia.



Gambar 23. Histopatologi otot udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). a) potongan sel otot udang normal b) potongan sel otot yang menunjukkan adanya nekrosis, atropia dari otot dan infiltrasi haemolymph. (Morales-cuarrubias *et al.*, 2016)



Gambar 24. Histopatologi hepatopankreas udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). a) potongan sel hepatopankreas udang normal. b) potongan hepatopankreas udang vaname yang terpapar racun microcystin. (Morales-cuarrubias *et al.*, 2016).

J. Faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan Cyanophyceae di perairan

Menurut Dokulil & Teubner (2000) penyebab terjadinya *blooming* Cyanobacteria atau Cyanophyceae adalah (1) suhu tinggi yang merupakan suhu optimal bagi pertumbuhannya; (2) rendahnya energi cahaya yang diperlukan oleh Cyanobacteria untuk dapat tumbuh cepat; (3) rendahnya CO₂ dan pH yang tinggi; (4) rendahnya rasio N:P; (5) tingginya kadar nitrogen anorganik seperti nitrat; dan (6) rendahnya tingkat kematian oleh karena kecilnya *grazing* oleh zooplankton.

Microcystis selain ditemukan pada perairan yang banyak kandungan unsur haranya, juga dapat hidup pada kondisi perairan yang tercemar berat dan suhu yang tinggi sampai 36°C (Oberholster *et al.*, 2004). Pada beberapa kondisi (seperti saat air lebih hangat dari biasanya dan tersedia nutrisi makanan yang cukup) *Microcystis aeruginosa* dapat tumbuh lebih cepat dari pada kondisi normal. Selain faktor nutrisi, Raps *et al.* (1983) menemukan bahwa laju pertumbuhan dari *M. aeruginosa* juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Jenis tersebut meningkat dengan adanya peningkatan intensitas cahaya yang diberikan (20, 40, 72, 160,

240, 565 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Abeloivich & Shilo (1972) menemukan bahwa sel *M. aeruginosa* rata-rata berkembang optimal pada 3.600- 18.000 lux.

Suhu merupakan faktor yang sangat signifikan mempengaruhi kompetisi antara *Microcystis* dengan *Oscillatoria* pada danau eutrofik dangkal (Chu *et al.*, 2007). Dalam penelitiannya tentang karakteristik pertumbuhan dan kompetisi antara *Microcystis aeruginosa* dengan *Oscillatoria mougeotii* yang menggunakan sistem simulator danau (*microcosms*) pada suhu yang bervariasi menunjukkan bahwa *Oscillatoria* merupakan kompetitor superior yang dapat menekan *Microcystis* ketika suhu kurang dari 20°C, tetapi hal yang sebaliknya terjadi pada suhu 30°C. *Microcystis* mempunyai fase eksponensial yang lebih pendek (2-3 hari) pada 30°C dengan laju pertumbuhan yang lebih tinggi (0,86 per hari).

Van der Vesthuizen & Eloff (1985) mengemukakan bahwa suhu dapat menyebabkan berkurangnya toxin (racun) berdasarkan uji di laboratorium bahwa pertumbuhan paling optimal bagi *Microcystis* adalah pada suhu 32°C, sedangkan kandungan racun terbesar adalah pada suhu 20°C, tapi berkurang pada suhu sekitar 28°C. Pada suhu 32°C sampai 36°C kandungan racun akan berkurang sekitar 1,6 sampai 4 kali dari pada suhu 28°C. Hal ini dapat disimpulkan bahwa perkembangan terbaik *Microcystis* tidak sejalan dengan perkembangan kandungan racun terbesar. Demikian pula Robarts & Zohary (1987), menyatakan bahwa pada suhu di bawah 15°C perkembangan *Microcystis* akan terbatas dan berkembang dengan optimal pada suhu sekitar 25°C. Temperatur sendiri hanyalah sebagian dari faktor yang menyebabkan melimpahnya peledakan, adapun terjadinya peledakan merupakan gabungan dari beberapa sebab yang ada, antara lain peningkatan suhu, meningkatnya unsur-unsur hara dan menurunnya mobilitas dinamika perairan leh kecukupan.

Adanya *blooming* fitoplankton bisa diakibatkan tersedianya nutrisi tumbuh yang sebagian besar berasal dari bahan pencemar terutama

bahan organik dan unsur hara lain yang masuk ke perairan (Closs *et al.*, 2006). Menurut Abel (1989) dan Ramirez & Bicudo (2005), suatu perairan yang didominasi oleh *Microcystis* menunjukkan bahwa perairan tersebut sudah tercemari oleh nitrat organik. Zmijewska *et al.* (2000), menyatakan bahwa *Microcystis* merupakan jenis yang dapat digunakan sebagai bioindikator untuk perairan yang telah mengalami eutrofikasi.

Hasil penelitian Fujimoto & Sudo (1997) tentang kemampuan bersaing dari *Microcystis aeruginosa* dan *Phormidium tenue* yang diisolasi dari salah satu danau di Jepang terhadap P dan N di dalam kultur kontinyu secara tunggal (murni) dan campuran dengan P dan N terbatas pada berbagai rasio N:P dan suhu menunjukkan bahwa *M. aeruginosa* merupakan kompetitor unggul pada kondisi rasio N:P rendah (0,5:0,1 mg/L; 1:0,1 mg/L; dan 2:0,1 mg/L) dan suhu tinggi (30°C), sedangkan *P. tenue* unggul pada kondisi N:P tinggi (4:0,1 mg/L) dan suhu rendah (20°C). Rasio N:P dan suhu merupakan faktor lingkungan yang mempengaruhi kelimpahan relatif dari *M. aeruginosa* dan *P. tenue*.

Beberapa penelitian menunjukkan suhu optimal untuk pertumbuhan Cyanobacteria yaitu 15-35°C, namun beberapa spesies Cyanobacteria pernah ditemukan dapat bertahan hidup hingga suhu 72°C di dalam kolam air panas di Taman Nasional Yellowstone (USA). Cyanobacteria juga ditemukan pada saat musim dingin dimana suhu udara mencapai suhu 0°C sampai -60°C (Whitton *et al.*, 2002). Hal ini sesuai dengan pendapat Crossetti and Bicudo (2005) bahwa Cyanobacteria dapat lebih bertoleransi terhadap kisaran suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan Cyanobacteria dan diatom. Rahmadi Aziz (2015) juga menyatakan bahwa Cyanobacteria dan Chlorophyta merupakan jenis fitoplankton dominan di perairan yang tergenang, namun karena Cyanobacteria dapat lebih bertoleransi terhadap kisaran suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan Chlorophyta dan Bacillariophyta sehingga Cyanobacteria lebih mendominasi.

Cyanophyceae merupakan fitoplankton yang sering dijumpai di perairan maupun di tambak (Boyd and Tucker 1998). Sebagaimana fitoplankton lainnya, pertumbuhan dan perkembangan Cyanophyceae dipengaruhi oleh faktor-faktor yang ada di lingkungannya, termasuk nitrogen (N) dan fosfor (P). Fitoplankton dalam pertumbuhan dan perkembangbiakan membutuhkan nitrogen dalam bentuk nitrat. Senyawa-senyawa nitrogen dipengaruhi oleh kandungan oksigen terlarut, nitrogen berubah menjadi ammonia saat oksigen terlarut rendah, sebaliknya berubah menjadi nitrat saat oksigen terlarut tinggi (Nybakken, 1992). Sedangkan tinggi rendahnya kandungan fosfat dalam perairan merupakan pendorong terjadinya dominasi fitoplankton tertentu, perairan dengan kandungan fosfat rendah (0,00–0,02 ppm) akan didominasi oleh Diatom; pada kadar sedang (0,02– 9 0,05 ppm) didominasi oleh Chlorophyta dan pada kadar tinggi (lebih dari 0,10 ppm) didominasi oleh jenis Cyanophyceae (Liaw, 1969). Rasio N:P (*redfield ratio*) sangat berpengaruh terhadap kelimpahan, keragaman dan dominansi plankton (Makmur dkk., 2012). Lagus (2009) menambahkan keragaman dan komposisi jenis plankton yang dominan di perairan sangat dipengaruhi oleh N:P rasio. N:P rasio dengan nilai di atas 20 akan lebih didominasi oleh plankton jenis diatome, sedangkan N:P rasio dengan nilai kisaran 10 akan didominasi oleh plankton berwarna hijau (*chlorella*) sedangkan N:P rasio dibawah 10 merupakan lingkungan yang kondusif untuk plankton dari jenis *Blue Green Algae* (BGA) termasuk *cyanobacteria*.

Setiap jenis Cyanobacteria mempunyai kebutuhan N dan P dengan rasio yang tertentu. Ernst *et al.* (2005) telah menguji dampak dari konsentrasi nutrisi yang tinggi terhadap pertumbuhan Cyanobacteria jenis *Synechococcus rubescens* strain SAG 3.81 dan *Synechococcus* sp. Strain BO 8807 yang diisolasi dari salah satu danau di Jerman. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Strain BO 8807 toleran terhadap fosfat

tinggi tetapi sensitif terhadap nitrat, Strain SAG 3.81 toleran terhadap nitrat tinggi jika fosfat rendah.

Tingginya unsur fosfor dan nitrogen di perairan dapat mengakibatkan terjadinya proses peningkatan kesuburan yang disebut sebagai eutrofikasi. Banyak aktivitas manusia di sekitar perairan yang dapat meningkatkan kesuburan perairan seperti limbah kotoran (*sewage effluents*), limpasan air (*run off*) dari lahan pertanian dan sebagainya. Air limbah dan limpasan tadi mengandung beban muatan yang berupa garam-garam mineral terlarut, bahan organik terlarut, tubuh biota mati dan detritus serta endapan mineral, Beban muatan tersebut merupakan bahan atau senyawa yang mengandung nutrisi bagi biota nabati (fitoplankton dan tumbuhan) di perairan. Dengan demikian sampai pada batas tertentu, limbah dan limpasan dari suatu kegiatan manusia dapat meningkatkan produktivitas hayati perairan. Apabila penambahan nutrisi tadi berlebihan, perairan menjadi lewat subur (eutrophic). Hal ini dapat berakibat "*blooming*" atau peledakan populasi biota tertentu, terutama biota nabati termasuk jenis-jenis Cyanobacteria (Shirai *et al.*, 1989).

Nitrogen merupakan salah satu elemen utama yang dibutuhkan untuk hidup, walaupun berlimpah sebagai gas atmosfer dalam bentuk molekul nitrogen (N_2), nitrogen harus dikonversikan dulu ke dalam bentuk ammonium, nitrat, atau dalam beberapa bentuk organik sebelum digunakan oleh organisme. Connel dan Miller (1995) menyatakan nitrogen organik terikat pada unsur pokok sel dari makhluk hidup yang masih hidup, contohnya asam amino. Nitrogen anorganik contohnya amonia, nitrat, dan nitrit terlarut dalam masa air. Perubahan bentuk dari nitrogen anorganik ke organik terjadi oleh fotosintesis tanaman air, sedangkan kebalikan dari proses ini melibatkan otolisis sel dan jasad renik.

Nitrat adalah suatu senyawa berupa ion poliatomik mempunyai rumus empiris NO_3^- . Senyawa ini tersusun atas satu pusat berupa atom

N dikelilingi oleh tiga atom O. Nitrat terbentuk pada saat nitrogen yang berasal dari ammonia berkombinasi dengan air yang teroksidasi. Nitrat merupakan bentuk terlarut senyawa nitrogen, terbentuk melalui proses oksidasi antara nitrogen dan oksigen. Nitrat bersama dengan nitrit dan ammonia merupakan sumber utama nitrogen utama bagi pertumbuhan fitoplankton, digunakan sebagai sintesis asam amino dan protein. Reynolds (2006) menambahkan bahwa amonium dan nitrat dimanfaatkan oleh sel fitoplankton untuk sintesis protein yang terjadi di dalam ribosom. Protein ini akan menyusun RNA dan DNA yang merupakan struktur penting di dalam inti sel fitoplankton.

Tingginya unsur fosfor di perairan, menurut Goldman & Horne (1983) dapat mengakibatkan terjadinya dominansi jenis-jenis fitoplankton tertentu. Misalnya jenis diatom akan mendominasi perairan yang berkadar fosfat rendah (0-0,02 mg/L), pada kadar 0,02-0,05 mg/L banyak tumbuh Chlorophyceae dan pada kadar yang lebih tinggi dari 0,1 mg/L banyak terdapat Cyanophyceae/Cyanobacteria. Fosfor merupakan elemen esensial bagi pertumbuhan tanaman dan hewan. Reynolds (2006) menambahkan bahwa fosfor juga merupakan komponen penting dalam DNA, RNA, ADP dan ATP.

Fosfor terbagi dalam tiga bentuk, yaitu senyawa fosfat anorganik atau ortofosfat, metafosfat (polifosfat) dan fosfat organik. Di alam, fosfor terdapat pada batuan dan deposit mineral lainnya. Seiring dengan perubahan cuaca, batuan melepaskan fosfor secara gradual dalam bentuk ion fosfat (PO_4^{3-}) yang larut dalam air. Fosfat anorganik terlarut (ortofosfat) merupakan bentuk senyawa fosfat yang siap diserap oleh fitoplankton dan tanaman air. Ortofosfat diproduksi oleh proses alami. Polifosfat biasanya digunakan dalam deterjen. Fosfat organik adalah fosfat yang berada dalam protoplasma, terikat pada jaringan tanaman, limbah padat atau material organik lainnya serta senyawa organik terlarut yang terbentuk karena kotoran atau tubuh organisme yang

terurai. Baik polifosfat maupun fosfat organik akan dikonversi ke dalam bentuk ortofosfat di perairan (Nojiri, 1987).

Perbandingan fosfor dengan unsur yang lain dalam ekosistem air lebih kecil daripada dalam tubuh organisme hidup. Rasio penyerapan nutrisi oleh organisme antara fosfor dan nitrogen adalah 1:16. Oleh karena itu, di ekosistem perairan unsur fosfor merupakan nutrisi pembatas dalam eutrofikasi. Hal tersebut berarti percepatan eutrofikasi tidak akan terjadi apabila ketersediaan fosfat rendah, walaupun kelimpahan nitrogen tinggi (Radojevic dan Bashkin, 1999).

Unsur fosfor mengalami siklus alami, Senyawa fosfor dilepaskan ke alam dari batuan dan mineral lainnya. Fosfor tidak memiliki bentuk gas, sehingga selalu ditransfer ke bentuk cair. Fosfat anorganik yang terlarut dalam air akan diabsorpsi oleh fitoplankton dan tanaman. Senyawa ini akan berpindah ke tingkat trofik yang lebih tinggi melalui rantai makanan. Senyawa fosfor kembali ke alam melalui proses dekomposisi tubuh organisme yang mati oleh bakteri-bakteri pengurai (Cunningham *et al.*, 2003).

Komunitas fitoplankton pada suatu perairan sangat dipengaruhi faktor fisika dan kimia perairan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan hara tambak dataran rendah lebih tinggi dibandingkan tambak dataran tinggi. Salinitas air kolam dataran tinggi lebih tinggi dari pada kolam dataran rendah. Salinitas merupakan faktor utama yang mempengaruhi komunitas fitoplankton. Cyanophyta, seperti *Microcystis sp.*, *Merismopedia glauca* dan *Aphanizomenon flosaquae*, mendominasi perairan pada kolam salinitas rendah, sedangkan Diatom seperti *Navicula cryptocephala* dan *Asterionella formosa* di kolam salinitas tinggi.

K. Pengendalian Cyanophyceae pada Perairan

Beberapa senyawa kimia telah diuji coba untuk digunakan sebagai algicides (bahan kimia yang ditambahkan ke air yang beracun untuk membunuh ganggang dan/atau *Cyanobacteria*) atau algistats (bahan kimia atau aditif, yang ditambahkan ke dalam air untuk menghambat atau memperlambat pertumbuhan alga, baik secara langsung, atau dengan modifikasi kimia dari kolom air). Tembaga sulfat (CuSO_4) adalah algicide paling umum yang digunakan karena ekonomis, efektif, dan mudah untuk diaplikasikan (Padovesi-Fonseca and Philomeno, 2004). Namun, penggunaan tembaga sulfat (CuSO_4) terutama untuk danau dan waduk menimbulkan kekhawatiran tentang akumulasi logam berat dan racun. Sehingga diperlukan alternatif algicides selain tembaga sulfat (CuSO_4) karena keberadaan *cyanobacteria* akan terus meningkat, mengingat praktek penggunaan lahan di masa depan (Brookes and Carey, 2011; Carey *et al.*, 2012.).

Hydrogen peroksida (H_2O_2) merupakan oksidan yang ramah lingkungan untuk air dengan tidak meninggalkan sisa bahan kimia lainnya. Diusulkan bahwa H_2O_2 bisa menjadi algicide potensial di waduk karena dapat menyerang sel-sel *cyanobacteria* dan menahan aktivitas fotosintesis yang dilakukan *cyanobacteria* dengan menghambat perpindahan fotosintesis elektron (Kay *et al.*, 1982; Drabkova *et al.*, 2007).

H_2O_2 dapat menghasilkan radikal hidroksil yang menyebabkan kerusakan sel *cyanobacteria* oleh oksidasi dari protein, lipid dan DNA (Latifi *et al.*, 2009). Telah dilaporkan juga bahwa *cyanobacteria* lebih sensitif terhadap H_2O_2 dibandingkan spesies fitoplankton lain di bawah pengamatan laboratorium dan limbah air (Drabkova *et al.*, 2007; Barrington and Ghadouani, 2008). H_2O_2 juga bisa menginduksi sel lisis, tingkat lisis lebih cepat pada dosis $10,2 \text{ mg L}^{-1}$ (Fan *et al.*, 2013).

Kontrol terhadap populasi Cyanophyceae secara umum dan *Microcystis aeruginosa* khususnya dapat dilakukan dengan beberapa metode. Dalam pelaksanaan di lapangan, umumnya tidak

digunakan satu metode, tetapi gabungan dari berbagai metode yang memungkinkan untuk dilakukan. Berikut adalah berbagai metode yang digunakan untuk menekan populasi *Microcystis aeruginosa*, baik yang dilakukan di lapang maupun hasil penelitian eksperimen laboratorium.

1. Penerapan Metode Budidaya

Berbagai metode budidaya yang diterapkan untuk menghindari kepadatan populasi *Microcystis aeruginosa* umumnya melalui upaya untuk meminimalkan masukan bahan organik atau mengurangi bahan organik dalam perairan tambak. Penumpukan bahan organik dalam tambak merupakan salah satu pemicu utama terjadinya *blooming Microcystis aeruginosa*. Beberapa metode budidaya tersebut antara lain:

- a. Padat tebar (*stocking density*) rendah, dengan harapan mengurangi sisa pakan dan feses yang masuk ke perairan tambak (Hariyanto, 2001),
- b. Polikultur menggunakan spesies yang dapat memanfaatkan *Microcystis aeruginosa* seperti golongan Tilapia (mujair dan nila) (Haryono, 2001),
- c. Tumpangsari dilakukan dengan memelihara ikan dan padi secara bersamaan atau mina padi yaitu memelihara ikan dan padi secara bergantian tergantung musim (Haryono, 2001),
- d. Manajemen pakan yang tepat sehingga tidak banyak pakan terbuang ke perairan. Manajemen pakan yang tepat dapat tergambar dari FCR (*Food Conversion Ratio*) yang rendah (Hariyanto, 2001),
- e. *Running water* yaitu pemeliharaan ikan dengan sistem air mengalir. Hal ini dapat membuang bahan organik dan menambah kandungan oksigen terlarut (Edhy dkk., 2003).

2. Manajemen kualitas perairan

- a. Perbaikan kualitas air umumnya dilakukan agar lebih sesuai bagi pertumbuhan berbagai jenis plankton. Dengan demikian *Microcystis aeruginosa* tidak mendominasi, Berbagai upaya tersebut antara lain adalah a. Turbulensi dan pengadukan kolom air untuk mencegah stratifikasi air, sehingga oksigen tersedia bagi plankton (Koswandi, 2001; Edhy, 1996),
- b. Penyiponan dan ganti air, bertujuan untuk membuang bahan organik sebagai pemicu blooming *Microcystis aeruginosa* (Koswandi, 2001; Haryono, 2001),
- c. Peningkatan salinitas yang dapat menghambat aktifitas fiksasi nitrogen oleh *Microcystis aeruginosa*,
- d. Mengendalikan suhu air dengan jalan meninggikan permukaan/ volume air. *Microcystis aeruginosa* umumnya berkembang cepat pada suhu perairan yang tinggi (Edhy, 1996),
- e. Manipulasi level nutrien untuk mengatur rasio Nitrogen dan Phosphat (N:P) perairan (Edhy, 2001; Smith, 1983). Rasio N:P perairan sangat menentukan dominansi jenis plankton pada suatu perairan (Koswandi, 2001):

Tabel 5. Rasio N: P Perairan dan Plankton yang Mendominasi

Nilai Rasio N: P	Jenis Plankton yang Mendominasi
N: P < 10	Cyanophyta (<i>Blue Green Algae</i>)
N: P=10:1	Dinoflagellata (warna air kemerahan)
N: P = 10 - 20:	Diatomae (warna air kecoklatan)
N: P = 20: 1	Chlorophyta (<i>Green Algae</i>)
N < 0, 144 ppm	Pembatas bagi kehidupan plankton
P < 0,02 ppm	

Dominasi plankton di suatu perairan, atau tinggi rendahnya kepadatan suatu jenis plankton di suatu perairan dibanding

jenis lain sangat dipengaruhi rasio N:P perairan. Penelitian Masithah, dkk (2019a) di tambak udang intensif di Banyuwangi mendapatkan bahwa perbedaan kandungan ammonium, nitrit, nitrat dan fosfat akan berpengaruh terhadap kepadatan pertumbuhan diatom. Diatom akan tumbuh pesat apabila kandungan nitrat suatu perairan tinggi atau dengan kecenderungan rasio NP tinggi. Blue green algae atau Cyanophyceae terdiri dari banyak jenis plankton, mulai plankton yang menguntungkan dan potensial sebagai pakan ikan seperti Spirulina sampai jenis yang merugikan seperti Microcystis. Masithah, dkk (2019b) mendapatkan bahwa kandungan ammonium yang tinggi serta kandungan nitrit yang rendah pada suatu perairan akan menyebabkan berkembangnya jenis plankton blue green algae dengan cepat. Atau dengan kata lain, apabila rasio N:P perairan rendah, maka dominansi plankton di perairan adalah dari jenis blue green algae. Penelitian Masithah, dkk (2019c) mendapatkan bahwa peningkatan kandungan nitrit berdampak pada peningkatan kepadatan Bacillariophyceae dan menurunkan kepadatan Cyanophyceae. Peningkatan ammonium di perairan akan menyebabkan peningkatan Cyanophyceae dan penurunan Bacillariophyceae serta dinamika fosfat berperan dalam dinamika kepadatan dan komposisi jenis-jenis plankton yang tumbuh dari golongan Bacillariophyceae dan Cyanophyceae.

- f. Filter biologis menggunakan ikan, kerang dan rumput laut dapat mengurangi bahan organik perairan. *Silver carp* dan *tilapia* merupakan ikan yang potensial untuk memanfaatkan *Microcystis aeruginosa* (Jana dan Sahal, 2000),
- g. “Penyuntikan plankton”, yaitu menginokulasikan jenis plankton tertentu ke tambak dengan harapan dapat berkembang untuk memperbaiki keragaman plankton (Edhy dkk., 2003).

3. Perlakuan fisik

- a. Pengambilan secara manual menggunakan serok. Cara ini dilakukan pada *Microcystis aeruginosa* yang telah membentuk koloni dan mengapung di permukaan perairan tambak (Koswandi, 2001).
- b. Radiasi sinar UV dapat meningkatkan specific gravity sel yang menimbulkan efek merugikan bagi *Microcystis aeruginosa*. Sel-sel *Microcystis aeruginosa* menjadi mengendap (Alam *et al.*, 2001).

4. Penerapan bahan kimia

Beberapa bahan kimia yang digunakan untuk menurunkan kepadatan *Microcystis aeruginosa* dalam perairan/tambak antara lain:

- Kupri sulfat (CuSO_4) dapat menghambat fiksasi Nitrogen oleh *Microcystis aeruginosa*, karena ion sulfat menghambat penyerapan ion molibdat yang dibutuhkan enzim nitrogenase (Verhoeven and Eloff, 1989 ; Li, 2002).
- Benzal Konium Chlorida (BKC) dengan dosis 0,6 ppm/3hari, dilakukan pada siang hari, Efek penggunaannya adalah oksigen terlarut menjadi rendah sehingga selama pemberian, kincir air harus dinyalakan (Yukasano, 1999).
- Hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan dosis 3-5 ppm (Haryono, 2001). Kelemahan penggunaan H_2O_2 adalah penampilan fisik udang menjadi rusak (Kastitonif, 2002).
- Pengapuran, bertujuan untuk menjaga nilai pH perairan dengan meningkatkan kapasitas buffer perairan. Dengan demikian, pH menjadi lebih stabil dan jenis plankton lain dapat tumbuh. Sementara itu, *Microcystis aeruginosa* lebih menyukai pH tinggi (Nur, 2002).
- Klorin Kaporit digunakan dengan dosis 1 - 1,5 ppm. Penggunaan kaporit memiliki kelemahan karena dapat mencemari

lingkungan bila terbuang dan terakumulasi di perairan (Koswandi, 2001),.

- Ozon dengan dosis 1 mg/liter (Hoeger *and* Coworker, 2002) dapat membunuh dengan cara merusak dinding sel (Collignon, 1994). Ozon memiliki oksidasi potensial 2,07 V, lebih tinggi dibanding klorin yang hanya memiliki oksidasi potensial 2,35.,
- *Lysine* dan *Malonic Acid* (Kaya, *et al*, 2004) dapat menurunkan dominansi *Microcystis aeruginosa* terhadap plankton lain pada kolam percobaan.

5. Penerapan Bahan Alami

- Ekstrak umbi tike (*Eleocharis dulcis*) memiliki fenomena alelopati dengan menghasilkan asam lemak teroksidasi yang dapat mengganggu pertumbuhan *Microcystis aeruginosa* (Andriyani, 1995),.
- Ekstrak kulit jeruk dan kulit pisang mengandung fenol dan tannin yang dapat menurunkan populasi *Microcystis aeruginosa* (Chen *et al*, 2004),.
- Dekomposisi jerami selain mengandung fenol dan tannin, juga adanya antibiotik yang dihasilkan jamur pada jerami yang terdekomposisi (Chen, 2004) Penggunaan terus menerus menyebabkan terjadi desensitifitas (Martin and Ridge, 1999),.
- Dekomposisi jerami padi dicampur daun-daunan mengandung senyawa fenol teroksidasi. Cara penggunaan adalah dimasukkan ke dalam karung dan digantung di dalam perairan (Gibson *et al*, 1990 dan Ridge *et al*, 1995),.
- Ekstrak dekomposisi jerami padi sudah dapat menurunkan populasi *Microcystis aeruginosa* pada konsentrasi kecil (0,05 %). Cara ini merupakan penyempurnaan penggunaan jerami padi terdekomposisi, karena tidak ada materi yang mengalami pembusukan dan berpotensi sebagai polutan (Ball *et al*, 2000).

- Enzim pektinase alami yang diekstrak dari bakteri *Pseudomonas pseudomallei* terbukti dapat menurunkan dominansi *Microcystis aeruginosa* karena dapat memecah dinding sel alga tersebut yang sebagian besar terdiri dari pektin (Masithah, 2011).

6. Penerapan mikroorganismen

- *Alcaligenes denitrificans* menghasilkan β -glikosidase yang memutus ikatan 8-1,3- glikosidik pada dinding heterokista, suatu aparat fiksasi nitrogen pada *Microcystis aeruginosa*. Selain itu bakteri ini berperan dalam proses denitrifikasi sehingga nitrogen tersedia bagi jenis plankton lain. Akibatnya, *Microcystis aeruginosa* tidak mendominasi perairan (Manage *et al*, 2000),
- *Pseudomonas* mempunyai kemampuan denitrifikasi serta bersifat saprofitik sehingga dapat menekan pertumbuhan *Microcystis aeruginosa* (Yamamoto *et al*, 1993),
- *Actinomyces* yang berada pada dekomposisi jerami, secara tidak langsung merupakan inhibitor *Microcystis aeruginosa* (Newman and Barret, 1993).
- Masithah, dkk. (2008) menggunakan bakteri selulolitik (*Pseudomonas pseudomallei*) untuk menurunkan dominansi alga jenis Cyanophyceae. Bakteri tersebut diisolasi dari tambak air tawar yang sudah mengalami dominansi Cyanophyceae. Harapannya, bakteri tersebut, ketika nanti diaplikasikan, benar-benar survive di kondisi lingkungan air yang didominasi Cyanophyceae karena memang itulah habitat aslinya.

L. Degradasi Toksin *Cyanobacteria*

Beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk mendegradasi toksin *cyanobacteria* yang telah terlarut dari berbagai jenis air. Rositano dan Nicholson (1994) menggunakan tiga koagulan (ferric sulfat, alum

dan polyaluminium klorida) untuk mendegradasi microcystin terlarut, tetapi tidak berhasil, nyaris tidak ada pendegradasian racun tersebut. Penelitian oleh Craig dan Bailey (1995) menunjukkan bahwa karbon aktif granular dapat secara efektif mendegradasi racun cyanobacterial. Tapi, karbon itu habis dengan penggunaan konstan dalam jangka waktu yang relatif singkat. Agen pengoksidasi lainnya seperti klorin, ozon, kalium permanganat, hidrogen peroksida dan ozon dalam kombinasi dengan hidrogen peroksida juga dievaluasi karena kemampuan mereka untuk mendegradasi racun (Keijola *et al.*, 1988). Oksidan tersebut dievaluasi dalam skala percobaan laboratorium untuk menentukan efektifitasnya pada proses degradasi racun. Studi menunjukkan bahwa efektivitas proses oksidasi dalam pengolahan air tidak hanya tergantung pada konsentrasi reaktan, tetapi juga pada kondisi suhu, pH serta komposisi ionik air tersebut (Al Momani *et al.*, 2008).

Penggunaan H_2O_2 untuk mendegradasi toksin *cyanobacteria* adalah salah satu kemungkinan yang efisien, H_2O_2 tidak terakumulasi di lingkungan karena dekomposisi yang cepat melalui mekanisme biologis, kimia dan fotokimia (Cooper *et al.*, 1994; Drábková *et al.*, 2007). Hidrogen peroksida telah terbukti menurunkan jumlah cyanobacterial dan konsentrasi microcystin di berbagai lingkungan (Drábková *et al.*, 2007; Barrington & Ghadouani, 2008).

Hidrogen peroksida adalah algicide kuat yang dapat mengurangi cyanobacterial chl- α dan dapat menyebabkan pecahan yang lebih tinggi dari chlorophytes dan diatom dalam kumpulan fitoplankton. Dalam penelitian Barrington *et al.* (2013), efek dari H_2O_2 terlihat sampai tiga minggu setelah aplikasi, hal ini menunjukkan bahwa pengulangan *treatment* mungkin diperlukan untuk kolam dengan *blooming cyanobacteria* dan toksisitas yang tinggi.

1. Definisi Hidrogen Peroksida (H_2O_2)

Hidrogen Peroksida merupakan merupakan bahan kimia berupa cairan (*liquid*) bening, tidak berwarna, bersifat oksidator kuat, tampilannya seperti air dan dapat dicampur dengan air dalam berbagai dosis (Wiranatha dkk., 2014). Sejak diproduksi pertama kali tahun 1800 di Inggris, hidrogen peroksida atau H_2O_2 telah digunakan di seluruh dunia untuk bahan pemutih produk tekstil dan kertas, dipakai pada pemrosesan makanan, bidang pertanian, petrokimia, desinfektan, deterjen, *waste water*, bahkan sebagai komponen oksidan bahan bakar roket (Nindl, 2004). Hidrogen peroksida juga telah digunakan pada berbagai aktivitas budidaya diantaranya untuk pemijahan pada moluska laut dan sebagai sumber oksigen pada transportasi ikan hidup (Taylor dan Ross yang dikutip oleh Boettcher *et al.*, 1997).

H_2O_2 pertama kali diisolasi melalui reaksi barium peroksida dan asam nitrat oleh Louis Jacques Thenard pada tahun 1818. Proses ini digunakan untuk menghasilkan H_2O_2 sejak akhir abad ke-19 sampai pertengahan abad ke-20. H_2O_2 murni ditemukan pertama kali oleh Richard Wolffenstein pada tahun 1894 melalui destilasi vakum. Nama lainnya adalah dioksida dihidrogen, dihidrogen dioksida, hidrogen dioksida atau dioksidan (Nindl, 2004).

Hidrogen peroksida mempunyai kemampuan melepaskan oksigen yang cukup kuat dan mudah larut dalam air. Selain itu OOH- yang berperan dalam oksidasi bersifat ramah terhadap lingkungan. Keuntungan lain dari penggunaan peroksida adalah kemudahan dalam pelaksanaan dan penerapan, serta relatif tidak beracun dan tidak berbahaya (Jayanudin, 2009).

H_2O_2 didalam air akan terurai menjadi H^+ dan OOH^- dimana OOH^- berperan untuk mendegradasi lignin dan bersifat ramah lingkungan. Semakin basa larutan maka jumlah gugus anion (OOH^-) yang terbentuk tiap waktu semakin banyak.

2. Peranan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) pada kegiatan budidaya

Reaksi hidrogen peroksida dengan air akan menghasilkan oksigen yang dapat dimanfaatkan oleh ikan/organisme budidaya pada media air, reaksinya adalah sebagai berikut (Nurjanah dkk., 2006):



Selain menghasilkan oksigen yang dapat dimanfaatkan oleh organisme budidaya pada media air, hidrogen peroksida (H₂O₂) juga menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam pengobatan terhadap sejumlah infeksi protozoa dan jamur pada ikan (Heinecke and Buchmann, 2009) serta telah terbukti menurunkan jumlah cyanobacterial dan konsentrasi microcystin (toksin) di berbagai lingkungan (Drábková *et al.*, 2007; Barrington & Ghadouani, 2008).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2009. Ganggang Hijau Biru (Cyanophyta). <https://mediabelajaronline.blogspot.com/2011/11/ganggang-hijau-birucyanophyta.html>
- Ahlgren, G.,L. Lundstedt, M. Brett and Forsberg. 1990. Lipid Composition and Food Quality of Some Freshwate Phytoplankton for Cladoceran Zooplankters *Journal of plankton research* 12: 809-818.
- Aisyah, R. 2021. Bakteri Cyanobacteria: Pengertian, Ciri-ciri, Cara Hidup dan Contohnya. <https://medan.tribunnews.com/bakteri-cyanobacteria-pengertian-ciri-ciri-cara-hidup-dan-contohnya>.
- Al Momani, F., D.W. Smith and M.G. El-Din. 2008. Degradation of Cyanobacteria Toxin by Advanced Oxidation Processes. *Journal of Hazardous Materials* 150, 238-249.
- Andriyani, N. 1995. Daya Hambat Ekstak Tike (*Eleocharis dulcis*) Hensel Terhadap Pertumbuhan Populasi Alga Biru *Microcystis aeruginosa* Kuetz dan Alga Hijau *Chlorella pyrenoidosa* Chick. Master Thesis. JBPTTTBBI.Departemen Biologi. ITB. Bandung.
- Avault, J.W. 1996. Off Flavor of Chanel Catfish. *Some Fundamentals Reviuwed Aquaculture* 22:6.
- Baker, A.L. 2012. Phycokey -- an Image Based Key to Algae (PS Protista), Cyanobacteria, and other aquatic objects. University of New Hampshire Center for Freshwater Biology. <http://cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm>.

- Ball, A.S. Williams M., Vincent D. and Robinson,1. 2000. Algal Growth Control by Barley Straw Extract, *Bioresour. Technol.* 77:177-181
- Barrington, D.J. and Ghadouani, A. 2008. Application of Hydrogen Peroxide for the Removal of Toxic Cyanobacteria and Other Phytoplankton from Wastewater. *Environment Science Technology* 42, 8916-8921.
- Barrington, D.J., E.S. Reichwaldt and A. Ghadouani. 2013. The Use of Hydrogen Peroxide to Remove Cyanobacteria and *Microcystins* from Waste Stabilization Ponds and Hypereutrophic Systems. *Ecological Engineering* 50, 86-94.
- Boettcher A.A., C. Dyer, J. Casey and N.M. Targett. 1997. Hydrogen Peroxide Induced Metamorphosis of Queen Conch, *Strombus gigas*: Test at the Commercial Scale. *Aquaculture* 148: 247-258.
- Borowitzka, M.A. 1994. Products from Algae. In S. M. Phang, L. Y. Kun, M. A. Borowitzka, and B. A. Whitton eds. In. *Proc. 1st Asia--Pacific Conference on Algal Biotechnology*. Kuala Lumpur, Malaysia. University of Malaya.
- Borowitzka, M. 2018. Biology of Microalgae. En: *Microalgae in Health and Disease Prevention*. Academic Press. Pp. 23-72.
- Boyd, CE. 1979. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Auburn. Alabama. USA.
- Boyd, CE. 1982. *Water Quality Management for Pond Fish Culture*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Boyd, CE. 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Auburn, AL: Auburn University/Alabama Agricultural Experiment Station.
- Brookes, J.D., Carey, C.C. 2011. Resilience to blooms. *Science* 334, 46-47.
- Butler, N., James C.C., Regina L., Barbara W. 2009. *Microcystins: A brief overview of their toxicity and effects, with special reference to fish, wildlife, and livestock*. Ecotoxicology Program.

- Carey, C.C., B.W. Ibelings, E.P. Hoffmann, D.P. Hamilton and J.D. Brookes. 2012. Eco-physiological Adaptations that Favour Freshwater Cyanobacteria in A Changing Climate. *Water Research*, 46: 1394–1407.
- Catherine, Q., W. Susanna, E. Isidora, H. Mark, V. Aurelie and H. Jean-Francois. 2013. A Review of Current Knowledge on Toxic Benthic Freshwater Cyanobacteria - Ecology, Toxin Production and Risk Management. *Water Research* 47: 5464 – 5479.
- CCLA (Culture Collection of Autothropic Organism). 2020. <https://ccala.butbn.cas.cz/en/chamaesiphon-polymorphus-geitler>
- Chen J., Zhili Liu, Guanju Ren, Pengfu Li and Yiwen Jiang. 2004. Control of *Microcystis aeruginosa* TH01109 with Batangas Mandarin Skin and Dwarf Banana Peel. *Water SA* vol.30 no.2 April 2004.
- Chen, W.C., H.J. Hsieh and T.C. Tseng. 1998. Purification and Characterization of A Pectin Lyase from *Pythium splendens* Infected Cucumber Fruits. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 39:181-186
- Chorus and Jamie Bartram. 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide To Their Public Health Consequence Monitoring And Management, WHO. ISBN 0-419- 23930-8
- Chu Z, Jin X, [wami N, Inamori Y. 2007. The Effect Of Temperature On Growth Characteristics And Competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeoti* A Shallow, Eutrophic Lake Simulator System. *Hydrobiol* 581: 217-223
- Closs G, Downes B, Boulton A. 2006. A Scientific Introduction Freshwater Ecology. Blackwell Publishing, Malden USA
- Cooper, W. J., Shao, C.W, Lean, D.R.S, Gordon, A.S and Scully, F.E. 1994. Factors Affecting the Distribution of H₂O₂ in Surface Waters, in: Environmental Chemistry of Lakes and Reservoirs, edited by: Baker, L.A., American Chemical Society, Washington, DC, 237, 391–422.

- Craig, K. and D. Bailey. 1995. Cyanobacterial Toxin Microcystin-LR Removal Using Granular Activated Carbon-hunter Water Corporation Experience, in: Proceeding of the 16th Australian Water and Wastewater Association Federal Convention, AWWA Inc, Artarmon, NSW, page: 579–586.
- Crossetti, L.O. and C.E.D.M. Bicudo. 2005. Effects of Nutrient Impoverishment on Phytoplankton Biomass: A Mesocosms Experimental Approach in A Shallow Eutrophic Reservoir (Garças Pond), São Paulo, Southeast Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, 28: 95–108.
- Cunningham WP, Mary AC, Barbara WS. 2003. *Environmental Science*. McGraw-Hill Companies, New York
- De Vries, R.P. 1999. Accessory Enzymes From *Aspergillus* Involved In Xylan And Pectin Degradation. Doctoral thesis. Wageningen University.
- Deng, D.F., K.K. Zheng, F.C. Teh, P.W. Lehman and S.J. Teh. 2010. Toxic Threshold of Dietary Microcystin (-LR) for Quart Medaka. *Toxicol*, 55(4): 787–794.
- Dokulil MT, Teubner K. 2000. Cyanobacterial Dominance In Lakes. *Hydrobiol* 438: 1-12
- Downing, T.G., R.R. Phelan and S.Downing. 2015. A Potential Physiological Role for Cyanotoxins in Cyanobacteria of Arid Environments. *Journal of Arid Environments*, 112: 147-151.
- Drábková, M., Admiraal, W and Marsálek, B. 2007. Combined Exposure to Hydrogen Peroxide and Light – Selective Effects on Cyanobacteria, Green Algae, and Diatoms. *Environment Science Technology* 41, 309-314.
- Drobac, D., N. Tokodi, J. Lujic, Z. Marinovic, G. Subakov-Simic, T. Dulic, T. Vazic, S. Nybomd, J. Meriluoto, G.A. Codd and Z. Svircev. 2016. Cyanobacteria and Cyanotoxins in Fishponds and Their Effects on Fish Tissue. *Harmful Algae*, 55: 66–76.

- Drouet, F. dan Daily, W.A. 1952. A Synopsis Of The Coccoid Myxophyceae. Butler University Botanical Studies. 10(24): 220-223, diakses pada 28 September 2021. https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=54115
- Edhy, W.A. 1996. Blue green algae. Majalah Mitra Bahari. Edisi Tahun 1, Nomor 2/ 1996.
- Edwards, V.A. 2005. Managing Cyanobacteria. <http://www.alken-murray.com/Cyanobacteria.htm>
- Fan, J., L. Ho, P. Hobson and J. Brookes. 2013. Evaluating the Effectiveness of Copper Sulphate, Chlorine, Potassium Permanganate, Hydrogen Peroxide and Ozone on Cyanobacterial Cell Integrity. Water Research 47, 5153-5164.
- Fayzunnessa, N., M.A. Morshed, A.Uddin, A. Parvin, dan R. Saifur. 2011. In Vivo Study On The Efficacy Of Hypoglycemic Activity of *Spirulina plantesis* in Long Evan Rats. International Journal of Biomolecules and Biomedicine (IJBB). 1(1). diakses pada 28 September 2021. <https://innspubnet.wordpress.com/tag/spirulina-platensis/>
- Fresenborg L. S., J. Graf, H. Schätzle, E. Schleiff. 2020. Iron Homeostasis Of Cyanobacteria: Advancements In Siderophores And Metal Transporters. Advances in Cyanobacterial Biology. Pages 85-117. diakses pada 28 September 2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/nodularia-spumigena>
- Front, J, and V.Horiyck. 1994. Sites of Uptake of Geosmin, a Cause of Earty-Flavor in Rainbow Trout (*Salmon gairdnen*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 41:1224-1226.
- Fujimoto N, Sudo R. 1997. Nutrient-Limited Growth Of *Microcystis aeruginosa* and Phormidium Tenue And Competition Under Various N:P Supply Ratios and Temperatures. Limnol Oceano 42: 250-256.
- Gerber, N.N. 1979. Olorus Substances from Actinomycetes. Society for Industrial Microbiologis, Arlington. Virginia.

- Goldman CR, Horne AJ. 1983. Limnology. Me. Graw Hill International Book Co., New York.
- Gutierrez RMP, Torres GF, Flores AM, Flores JMM. 2007. *Microcystis aeruginosa*: pharmacology and phytochemistry, *Pharmacol* 1: 57-116.
- Hadie, A. 2002. Mencermati Blooming Fitoplankton. *Majalah Mitra Bahari* Edisi Tahun Vil Nomor 2.
- Hardjowigeno, H.S. 2007. Ilmu Tanah. Akademik Pressindo. Jakarta.
- Hariyanto. 2001. Hati-hati Limbah Sisa Pakan. *Majalah Mitra Bahari*, edisi tahun VI nomor 1/2001.
- Haryono, S.S. 2001. Off-flavor., *Majalah Mitra Bahari*. Edisi tahun VI, nomor 3/2001
- Heransto. 2011. *Gloeocapsa magma*. diakses pada 28 September 2021. https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Gloeocapsa_magma
- Heinecke, R. D., & Buchmann, K. 2009. Control of *Ichthyophthirius multifiliis* Using A Combination Of Water Filtration And Sodium Percarbonate: Dose-response studies. *Aquaculture*, 288 (1-2), 32-35.
- Hindak. 1984. 037 *Chamaesiphon polymorphus*. diakses pada 28 September 2021. <https://ccala.butbn.cas.cz/en/chamaesiphon-polymorphus-geitler>
- Hobson, P. 2003. Effect Of Irradiance, Temperature And Salinity On Growth And Toxin Production By *Nodularia spumigena*. *Hydrobiologia* 493(2003): 7-15. Print.
- Hoeger S.J., Dietrich D.R. and Hitzfeld B.C. 2002. Effect of Ozonation On The Removal Of Cyanobacterial Toxins During Drinking Water Treatment. *environ. Health Perspect*, 110: 1127-1132.
- Hoiczkyk, E and A.Hansel. 2000. Cyanobacterial Cell Walls: News From an Unusual Prokaryotic Envelope. *J.Bacteriol*, 182(5):1191-1199.
- Holt, J.G., Krieng of N.R., Sneath P.H.A. Staley J.T. and William, S.T. 1994. *Bergey's manual of Determinative Bacteriology*. Ninth edition. Wilkins and Wilkins. Baltimore.

- Huber, A.L. 1985. Phosphatase Activities In Relation To Phosphorus Nutrition in *Nodularia spumigena* (Cyanobacteriaceae). *Hydrobiologia* 123: 81-88. Print.
- Ibelings, B.W. and Havens, K.E. 2008. Cyanobacterial Toxins: A Qualitative Meta-analysis of Concentrations, Dosage and Effects in Freshwater, Estuarine and Marine Biota. In: *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. Advances in Experimental Medicine and Biology* 619, 675-732.
- Isnansetyo, A. 2005. Bakteri Antagonis sebagai Probiotik untuk Pengendalian Hayati pada Aquaculture. *Jurnal Perikanan VII(1):* Februari 2005.
- Isnansetyo, A. dan Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton. Pakan Alami ntuk Pembenihan Organisme Laut, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Ivanka. 2016. Cara Baru Menghilangkan Alga (*Green Water*) Tanpa Zat Kimia, diakses pada 28 September 2021. <https://getbusygardening.com/keepingpond-water-clear-natural-way/>
- James, D. and D.Ottey. 1996. *Biological Principles of Pond Culture Fish*. Oregon State University. Corvalis. Oregon.
- Jana, B.B., and D. S. Sahal. 2000. Managing The Algal Bloom In A Eutrophicllake Using Selective Herbivotous Fishes, diakses pada 28 September 2021. <http://ces.iisc.emet.in/energy/water/proceed>.
- Jayanudin. 2009. Pemutihan Daun Nanas Menggunakan Hidrogen Peroksida. *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 3, No. 1: 5 hal.
- Jochem, F. 2006. Cyanobacteria. Marine Biology. Departemen Biology of FIU BOT4404 Lecture Notes.
- Kabede, E and Ahlgren, G. 1996. Optimum Growth Conditions and Light Utilization Efficiency of *Spirulina platensis* (*Arthospira fusiformis*) from Lake Chitu, Ethiopia. *Hydrobiol.*, 332: 99-109.

- Kankaanpää, H.T., J. Holliday, H. Schröder, T.J. Goddard, R. von Fister and W.W. Carmichael. 2005. Cyanobacteria and Prawn Farming in Northern New South Wales, Australia-A Case Study on Cyanobacteria Diversity and Hepatotoxin Bioaccumulation. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 203: 243-256.
- Kastitonif. 2002. Muddy Smel. *Majalah Mitra Bahari*, Tahun VII nomor 2/2002
- Kay, S.H., Quimby, P.C and Ouzts, J.D., 1982. H₂O₂: A potential algicide for aquaculture. *Proceedings, Southern Weed Science Society* 35, 275-289.
- Kaya, K., Y. D. Liu, Y. W. Shen., B. D. Xiao and T.Sano. 2004. Selective Control of Toxic Microcystis Water Blooms Using Lysine and Malonic Acid: An Enclosure Experiment, *J. Of Applied Phycology* 20:170-178. Database
- Keijola, A. M., Himberg, K., Esala, A. L., Sivonen, K., & Hiis-Virta, L. 1988. Removal of Cyanobacterial Toxins In Water Treatment Processes: Laboratory and pilot-scale experiments. *Toxicity assessment*, 3(5), 643-656.
- Khong, N.M.H., Y.S.Khaw, M.F, Nazarudin, dan F.Md. Yusoff. 2019. *Microcystis aeruginosa* Grown In Different Defined Media Leads To Different Cultivable Heterotrophic Bacteria Composition That Could Influence Cyanobacterial Morphological Characteristics And Growth Properties. diakses pada 28 September 2021. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/721175v1.full>
- Koswandi, D.2001.Cara Mengatasi Blue Green Algae. *Majalah Mitra Bahari*, edisi tahun VI nomor 2/2001.
- Lagus, A. 2009. Role of Nutrients in Regulation of the Phytoplankton Community in the Archipelago Sea, Northern Baltic Sea. *Turun Yliopiston Julkaisuja Annales Universitatis Turkuensis*. Page 5-43.
- Latifi, A., Ruiz, M and Zhang, C.C. 2009. Oxidative Stress in Cyanobacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 33: 258-278.

- Lee, R.E. 1989. Phycology 2nd ed. Cambridge University Press. Cambridge. USA.pp: 55 – 93.
- Lelana I.Y.B. 1993. Geosmine and Flafor in Channel Catfish. Doctoral Dissertation. Auburn University.Auburn.Alabama.USA.
- Lewin, R.A. 1965. *Dermocarpa violacea*, diakses pada 28 September 2021. <https://utex.org/products/utex-lb-1635?variant=30992106586202>
- Li, D. M and Y. Z. Qi. 1997. Spirulina Industry in China: Present Status and Future Prospects. J. Appl. Phycol., 9: 25--28.
- Li, X.Y., Chung, I.K, Kim, J.I and Lee, J.A. 2004. Subchronic Oral Toxicity of Microcystin in Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) Exposed to Microcystis Under Laboratory Conditions. Toxicol, 44: 821–827.
- Liaw, W.K. 1969. Chemical and Biological Studies of Fish Pond and Reservoir in Taiwan. Chinese American Joint Comission on Rural. Reconstruction Fish, Series (7): 1-43.
- Lightner, D. V. 1978. Possible Toxic Effects Of The Marine Blue-Green Alga, Spirulina Subsalsa, On The Blue Shrimp, *Penaeus stylirostris*. Journal of Invertebrate Pathology, 32(2), 139-150.
- Lovell, R.T. 1999. Flavor Problem in Fish Culture in T.VR.Pilay and W.M.A. Hill Advances in Aquaculture. Fishing News Books Ltd. Farnham. Surrey. England.p.186-190
- Lowell, T. and L.A.Sackey.1973. Absorption by Channel Catfish of Earty-Musty Flavor Compounds Synthesized b y Cultures of Blue Green Alga. rans. Amer.Fish.Soc.102:774-777.
- Maeda, M. 1989. Some Aspect Of The Biocontrolling Method In Aquaculture. Jap. Soc. Mar. Biotechnol, p.395-397.
- Makmur M., Haryoto K. Setyo S.M., Djarot S. Wisnubroto. 2012. Pengaruh Limbah Organik dan Rasio N/P terhadap Kelimpahan Fitoplankton di Kawasan Budidaya Kerang Hijau Cilincing. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah. 15 (2).
- Malbrouck, C. and Kestemont, P. 2006. Effects of *Microcystins* on Fish. Environments Toxicology Chemistry, 25: 72–86.

- Manage, P., Z.E. Kawabata and S. Nakano. 2000. Algacidal Effect of The Bacterium *Alcaligenes denitrificans* on *Microcystis* spp. *Aquat Microb. Ecol.* 22:111-117.
- Martin D. And Ridge I. 1999. The Relative Sensitivity Of Algae To Decomposing Barley Straw. *J. Appl. Phycol.* 11:285-291.
- Masithah, E.D., L. Sulmartiwi dan J. Triastuti. 2008. Isolasi Bakteri Selulolitik Asal Tanah Tambak sebagai Bahan Pengembangan Probiotik Pendegradasi Dinding Sel *Microcystis* sp, Penyebab Cita Rasa Lumpur pada Ikan Bandeng. Hasil Penelitian. Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga. http://repository.unair.ac.id/40602/1/gdlhub-gdl-res-2008-masithaend-7484lp117_0.
- Masithah, E.D. 2011. Upaya Menurunkan Dominansi *Microcystis aeruginosa* Menggunakan Enzim Pektinase dari *Pseudomonas pseudomallei*. *Berkala penelitian Hayati*. Edisi Khusus: 4C (83–86).
- Masithah, E.D., D. D. Nindarwi, T. Rahma and dan R. R. Satrya P I. 2019a. Dynamic Ratio Correlation of N:P in Relation to the Diatom Abundance in the Intensive System of the Vannamei (*Litopenaeus vannamei*) Shrimp Pond. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 236, 012017. 1st International Conference on Fisheries and Marine Science. 6 October 2018, Surabaya, Indonesia.
- Masithah, E.D., D.D. Nindarwi, A.L.A. Suyoso dan D. Husein. 2019b. Dynamic Ratio Correlation of N:P on the Abundance of Blue-green Algae in an Intensive System in a White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Pond. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 236, 012017. 1st International Conference on Fisheries and Marine Science. 6 October 2018, Surabaya, Indonesia.
- Masithah, E.D., D. D. Nindarwi, D. Husin dan T. Rahma. 2019c. Dynamic Ratio Correlation of N:P Toward Phytoplankton Explosions in Intensive Systems of White Shrimp Pond. *IOP Conference Series:*

Earth and Environmental Science 236, 012017. 1st International Conference on Fisheries and Marine Science. 6 October 2018, Surabaya, Indonesia

- Mazur-Marzec, Hanna. 2005. The Effect Of Salinity On The Growth, Toxin Production, And Morphology Of *Nodularia spumigena* Isolated From The Gulf of Gdańsk, southern Baltic Sea. *Journal of Applied Phycology* 17: 171-179. Print.
- McGregor, G., I. Stewart, B. Sendall and W.A. Wickramasinghe. 2012. First Report of Toxic *Nodularia spumigena* (Nostocales/Cyanobacteria) Bloom in Sub-Tropical Australia. I. Phycological and Public Health Investigations. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9(7):2396-411
- Morales-Covarrubias, M. S., García-Aguilar, N., del Carmen Bolan-Mejía, M., & Puello-Cruz, A. C. 2016. Evaluation Of Medicinal Plants And Colloidal Silver Efficiency Against *Vibrio parahaemolyticus* Infection in *Litopenaeus vannamei* Cultured At Low Salinity. *Diseases of Aquatic Organisms*, 122(1), 57-65.
- Morsy, F. M., S. H. A. Hassan, & M. Kouttb. 2011. Biosorption of Cd (II) and Zn (II) by *Nostoc commune*: Isotherm and Kinetics studies. *Clean-soil, air, water*. Volume 39 (7). Willey-VCH Verlag GmbH & Co: Weinheim. Pp. 680-687.
- Mujib, M. I. A. 2012. Kadar Glukosa Dan Kolesterol Serum Tikus Putih (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) Galur Wistar Setelah Pemberian Jamur Selo (Koloni *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet & Flahault) Per Oral. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Fakultas Biologi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Newman, J.R. and P.R.F., Barrett, 1993. Control of *Microcystis aeruginosa* By Decomposing Barley Straw. *J. of aquatic Plant Manage*, 31: 203-206

- Nindl, B. C., Headley, S. A., Tuckow, A. P., Pandorf, C. E., Diamandi, A., Khosravi, M. J.,... & Germain, M. 2004. IGF-I System Responses During 12 Weeks Of Resistance Training In End-Stage Renal Disease Patients. *Growth hormone & IGF research*, 14(3), 245-250.
- Nur, A.M.M. 2002. Pentingnya Pengaruh Kapur Terhadap Kualitas Air. *Majalah Mitra Bahari*, edisi tahun VII nomor 3/2002
- Nur, Juliar. 2020. Cyanobacteria: Pengertian, ciri-ciri, bentuk struktur bagian reproduksi. <https://learniseasy.com/cyanobacteria/>
- Nurjanah, Komari dan E. Susanto. 2006. Penambahan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) dalam Mempertahankan Waktu Hidup Ikan Kerapu Lumpur (*Epinephelus suillus*). *Buletin Teknologi Hasil Perikanan*, Vol IX Nomor 2: 9 hal.
- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Diterjemahkan oleh H. M. Eidman, Koesoebiono, D. G. Bengen, M. PT Gramedia. Jakarta.
- Oberholster PJ, Botha & Grobbelaan. 2004. *Microcystis* spp.: Source Of Toxic Microcystins In Drinking Water. *Af J Biotechnol* 3:159- 168
- Otsuka S, Suda S, Li R, Matsumoto S, Watanabe MW. 2000. Morphological Variability of Colonies of *Microcystis morphospecies* in Culture. *J Gen Appl Microbiol* 46: 39-50.
- Padovesi-Fonseca C, Philomeno MG. 2004. Effects Of Algacide (Copper Sulfate) Application On Short-Term Fluctuations Of Phytoplankton In Lake Paranoa, central Brazil. *Braz J Biol* 64:819-826
- Paerl, H.W..1998. *Growth and Reproductive Strategies of Fresh Water Phytoplankton* Cambridge University Press.pp.261-315.
- Palíková, M., Navrátil, S., Krejčí, R., Štěřba, F., Tichý, F., Kubala, L.,... & Bláha, L. 2004. Outcomes Of Repeated Exposure Of The Carp (*Cyprinus carpio* L.) To Cyanobacteria Extract. *ACTA Veterinaria Brno*, 73(2), 259-265.

- Penazola, R. M. Rojas, I. Vila and F. Zambrano. 1990. Toxicity Of Soluble Peptide From *Microcystis* sp. To Zooplankton And Fish. *Freshwater Biology* 24:233
- Pereira, I., O. Rita., A.C. Paz., and F. Carrapico. 2006. Lab Activity for Symbiosis Teaching Discovering Azolla: Introduction. *Symbiosis Teaching Workshop – 5th International Symbiosis Society Congress*.
- Person, P.E. 1999. The Source of Muddy-Odor in bream (*Abramis brama*) from The Porvoo Sea Area. *Journal of The Fisheries. Research Board of Canada* 36:883-890.
- Phang, S.M., M. S. Miah, W. L. Chu, and M. Hashim. 2000. *Spirulina* Culture in Digested Sago Starch Factory Waste Water. *J.Appl. Phycol.*, 12:395--400.
- Prihantini, N. j. B., W. Wardhana, D. Hendrayanti, A. Widyawan, Y. Ariyani, Dan R. Rianto. 2008. Biodiversitas Cyanobacteria Dari Beberapa Situ/Danau Di Kawasan Jakarta-Depok-Bogor, Indonesia. *Makara, Sains*. Hal 44-54.
- Purnomo, G. 2020. *Chroococcus Turgidus* Adalah; Klasifikasi, Morfologi, Habitat Dll. diakses pada 28 September 2021. <https://www.melekperikanan.com/2020/06/chroococcus-turgidus-adalah-klasifikasi.html>
- Radojevic M, Bashkin VN. 1999. *Practical Environmental Analysis*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge
- Rahmadi, A., Nirmala, K., Affandi, R., & Prihadi, T. 2015. Kelimpahan Plankton Penyebab Bau Lumpur Pada Budidaya Ikan Bandeng Menggunakan Pupuk N: P Berbeda Growth Of Offflavours-Caused Phytoplankton In Milkfish Culture Fertilized With Different N: P. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 14(1), 58-68.

- Ramirez, JJ, Bicudo CEM. 2005. Diurnal And Spatial (Vertical) Dynamics Of Nutrients (N, P, Si) In Four Sampling Days (Summer, Fall, Winter And Spring) In A Tropical Shallow Reservoir And Their Relationships With The Phytoplankton Community. *Braz J Biol* 65: 141-157
- Raps S, Wiman K, Siegelman HW, Falkawsky PG. 1983. Adaptation of Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* to light intensity. *Plant Physiol* 72: 829-832
- Reynolds cs. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ridge I. And Pillinger J.M and J.Walters. 1995. Alleviating The Problems of Excessive Algal Growth. In: D.M. Harper and A.J.D. ferguson (eds). *The Ecological Basis for River management*, John Wiley Chichester.21 1-218
- Robarts RD, Zohary T. 1987. Temperatur Effects On Photosynthetic Capacity, Bloom-Forming Cyanobacteria. *NZ'J Mar respiration, and growth rates Freshw Res* 21:391-399
- Rositano, J. and B.C. Nicholson. 1994. Water Treatment Techniques for Removal of Cyanobacterial Toxins from Water. *Bull. Bureau Plant. Indus. USDA*, 76: 19-55.
- Sachlan, M. 1981. *Planktonologi*. Fakultas peternakan dan Perikanan Universitas Diponegoro.
- Sarawad, I.M. 2004. Smel of earth. *Sci Tech. The Hindu*. Online Edition of India inaa'S National Newspaper, Thursday, Sep 16. 2004.
- Sarjono, A. 2009. Analisis Kandungan Logam Bert Cd, Pb, Dan hg Pada Air Dan Edimen Di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Shalygin et Pietrasiak. 2019. 1120 *Rivularia halophila*. diakses pada 28 September 2021. <https://ccala.butbn.cas.cz/en/rivularia-halophila-shalygin-et-pietrasiak>

- Sharma, R. M and P. A. Azeez. 1988. Accumulation of Cooper and Cobalt by Blue--Green Algae at Different Temperature. Inter. J. Environ. Anal. Chem., 32:87-95.
- Shirai M, Matumaru K, Ohotake A, Takamura Y, Aida T, Nakano M. 1989. Development of a Solid Medium For Growth And Isolation Of Axenic *Microcystis strains* (Cyanobacteria). App Environ Microbiol 55: 2569- 2571
- Smith VH. 1983. Low Nitrogen To Phosphorus Ratios Favor Dominance By Blue- Green Algae In Lake. Sci 221:669-671
- Smith,L. 1993. Introduction to Fish Physiology. T.F.H. Publications. Neptune New
- Snokhousova Et Elster. 2009. 879 *Oscillatoria* sp. diakses pada 28 September 2021. <https://ccala.butbn.cas.cz/en/oscillatoria-sp>
- Staal, M., te Lintel-Hekkert, S., Harren, F., Stal, L.J. 2003. Light Action Spectra Of Nitrogenase Activity In Baltic Sea Cyanobacteria. Journal of Phycology 39: 668-677.
- Svirčev, Z., J. Lujčić, Z. Marinović, D. Drobac, N. Tokodi, B. Stojiljković and J. Meriluoto. 2015. Toxicopathology Induced by *Microcystins* and *Nodularin*: A Histopathological Review. Journal Environment Science Health C 33 (2), 125-167.
- Sze,P.1993 a Biology of Algae Second Edition. Wm.C.Publishers.pp. 19-34.
- Tabachek,J.L. andR.M Yorkowski-1996. Isolation and Identification Of Blue Green Algae Producing Muddy-Odor Metabolites Geosmin and 2-methyl Isoborneol in Saline Lakes in Manitoba Journal of Fisheries Research Board of Canada. 33:25-35.
- Thajuddin, N. and G. Subramanian. 1992. Survey of Cyanobacterial Flora of the Southern East Coast of India. Botanica Marina, 35(4): 305-314.
- Tjitrosoepomo, G. 1998. Taksonomi Tumbuhan (Schizophyta, Thallophyta, Bryophyta, Pteridophyta). UGM Press. Yogyakarta.

- Trainor, F. R. 1978. Introductory phycology. John Willey and sons. New York. USA. pp: 32 -66.
- Trisyani,N.1997. Hubungan antara Kualitas Air Tambak dan Pertumbuhan Alga Cvanophyceaea terhadap Citarasa Lumpur Ikan Bandeng *Chanos chanos* Forskal). Thesis. Program Pascasarjana. Universitas Brawijaya. Malang. 92 hal.
- Tuomainen, J. 2006. Community Structure of the Bacteria Associated with *Nodularia* sp. (Cyanobacteria) Aggregates in the Baltic Sea. *Microbial Ecology* 52: 513-522. Print.
- Van der Vesthuizen AJ, Eloff JN. 1985. Effects of Temperature And Light On Toxicity And Growth of *Microcystis aeruginosa* [UV-006]. *Planta* 163: 55- 59
- van Hullebusch, E., P. Chatenet, V. Deluchat, P.M. Chazal, D. Froissard, M. Botineau, A. Ghestem and M. Baudu. 2003. Copper Accumulation In A Reservoir Ecosystem Following Copper Sulfate Treatment (St. Germain Les Belles, France). *Water Air Soil Pollut.* 150, 3.
- Van Reine, W. F. P. and G. C. Trono. 2001. Plant Resource of South East Asia. *Cryptogams: Algae Backhuys*, Vol 15 (1). Publisher Leiden. Netherlands. pp: 230-233.
- Vashishta, B.R. 1999. *Algae Part I*. Eight Revised Ed. S. Chand & Company LTD. New Delhi.
- Verhoeven R.L. and Eloff, J.N. 1979. Effect of Lethal Concentration Of Copper On The Ultrastructure And Growth Of *Microcystis*. *Proc. Electron. Microsc. Soc. S. Afr.* 9:161-162
- Verspagen JMH. 2006. Benthic-Pelagic Coupling In The Population Dynamics Of The Cyanobacterium *Microcystis*. PhD Thesis. Universiteit Utrecht, Nederlands
- Villareal TA, Carpenter EJ. 2003. Bouyancy Regulation And The Potential For Vertical Migration In The Oceanic Cyanobacterium *Trichodesmium*. *Microbiol Ecol* 45:1-10

- Vuorinen, P. 2008. Accumulation and Effects of *Nodularin* from a Single and Repeated Oral Doses of Cyanobacterium *Nodularia spumigena* on Flounder (*Platichthys flesus* L.). Archives of Environmental Contamination and Toxicology (2008).
- Whitton, B. A and M. Potts. 2000. The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space. Kluwer Academic Publisher. London. Pp. 466-492.
- Whitton, B.A. 2002. Phylum Cyanophyta (Cyanobacteria), in: Jhon, D.M., B.A. Whitton, A.J. Brook (Eds.), The Freshwater Alga Flora of The British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae, Cambridge University Press, Cambridge.
- Wilcox, A. J., Dunson, D., & Baird, D. D. 2000. The Timing Of The “Fertile Window” In The Menstrual Cycle: Day Specific Estimates From A Prospective Study. *Bmj*, 321(7271), 1259-1262.
- Wiranatha, I.G.P., I.G.A.M. Aryasih dan D.A.A. Posmaningsih. 2014. Pengaruh Lama Kontak Hidrogen Peroksida terhadap Keluhan Subyektif Pengrajin Lontar. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. Vol. 4, No.1: 61-69.
- Xia S, Li J, Wang R. 2008. Nitrogen Removal Performance And Microbial Community Structure Dynamics Response To Carbon Nitrogen Ratio In A Compact Suspended Carrier Biofilm Reactor. *Ecol Eng* 32:256-262
- Yamamoto Y., Furukawa, J and Suzuki. 1993. Occurrence of HeteroThrophic Bacteria Causing Lysis of Cyarobacteria in Euthropic Lake. *J.Phycol* 41:215- 220.
- Yukasano, D. 2002. Teknik Mengontrol Mikroba dalam Budidaya Udang Intensif. *Majalah Mitra Bahari Edisi VII (3):140-147*
- Zakia Dwi Puspa Ramadina. 2021. Blue Green Algae (BGA) di Tambak, diakses pada 28 September 2021. <https://nanobubble.id/blog/blue-green-algae-di-tambak>

- Zimba, P. V., Camus, A., Allen, E. H., & Burkholder, J. M. 2006. Co-occurrence of White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Mortalities And Microcystin Toxin In A Southeastern USA Shrimp Facility. *Aquaculture*, 261(3), 1048–1055
- Zmijewska MI, Niemkiewicz E, Bielecka L. 2000. Abundance And Species Composition Of Plankton In The Gulf Of Gdańsk-Wschód (Gdańsk-East) Sewage Treatment Plant, *Oceanol* 42: 335-357.

TENTANG PENULIS



Dr. ENDANG DEWI MASITHAH, M.P., Ir. lahir pada tahun 1969 di kota Malang, Jawa Timur. Menempuh pendidikan sarjana (S1) di Universitas Brawijaya (1988-1992), pendidikan master (S2) di institusi yang sama (1994-1997) dan doktor (S3) di Universitas Airlangga (2004-2008). Sejak menempuh pendidikan sarjana, penulis sudah tertarik pada bidang planktonologi, sehingga tema-tema penelitian yang ditekuni sampai saat ini berkisar tentang plankton, terutama lingkungan plankton. Sebelum menjadi dosen, penulis bekerja sebagai analis kualitas air di laboratorium tambak udang. Di sinilah penulis mendapatkan cukup banyak referensi tentang plankton langsung dari lapang. Pendalaman tentang plankton dilanjutkan saat studi dengan mengambil thesis bertema tentang keragaman plankton perairan. Tahun 1997, penulis menjadi dosen di Universitas Airlangga dengan

tugas mengajar mata kuliah Planktonologi dan beberapa mata kuliah lain yang berkaitan dengan plankton diantaranya Budidaya Pakan Alami (Plankton), Bioremediasi, Biologi Perairan, Bioteknologi Hasil Perikanan dan Biologi Molekuler. Pada saat mendalami plankton inilah, penulis mempelajari juga manfaat dan bahaya dari plankton, terutama di perairan khususnya perikanan. Dari sinilah penulis mempelajari bioremediasi oleh dan terhadap plankton di perairan. Sejalan dengan hal tersebut, maka pada saat studi doktoral, penulis mendalami tema tentang *Microcystis aeruginosa* yaitu tentang ekstraksi enzim bakteri pektinolitik sebagai upaya pengembangan probiotik penekan pertumbuhan plankton *Microcystis aeruginosa* penghasil racun microcystin yang merusak hepatopankreas udang dan metabolit geosmin penyebab cita rasa lumpur pada ikan. Setelah menyelesaikan studi, penulis kembali mengajar dan karena tema disertasinya juga menyangkut tentang enzim, maka berlatar belakang hal tersebut, penulis ditugaskan untuk mengajar juga tentang penggunaan enzim pada produk perikanan.

Setelah menyelesaikan studi S3, penulis mendapatkan kesempatan berkiprah dalam bidang manajemen dengan tugas sebagai Ketua Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan (2010), Wakil Dekan Bidang Kerjasama Fakultas Perikanan dan Kelautan (2010-2015), Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kemahasiswaan (2015-2020) dan kemudian sebagai Direktur Sumber Daya Manusia Universitas Airlangga (2020-sekarang). Disamping kegiatan di dalam kampus, kiprah keilmuan di luar kampus juga diikuti dengan aktif di Himpunan Ahli Pengelola Pesisir Indonesia (HAPPI) dan Mitra Bahari Jawa Timur.

Karya-karya tulis terkait pengembangan keilmuan tetap dihasilkan melalui penelitian dan artikel-artikel pada jurnal dengan tema berkisar pada lingkungan plankton, utamanya tentang bioremediasi, keragaman plankton perairan serta penggunaan enzim di bidang perikanan.

CYANOPHYCEAE

