

The logo for 'plantaxia' features a stylized white plant icon to the left of the word 'plantaxia' in a lowercase, sans-serif font.

Dr. Supono, S.PL, M.Si.

Manajemen Lingkungan  
untuk **Akuakultur**



# Manajemen Lingkungan Akuakultur

**Manajemen Lingkungan untuk Akuakultur**, oleh *Dr. Supono, S.Pi., M.Si.*

Hak Cipta © 2015 pada penulis

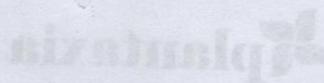
 **plantaxia**

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283  
Telp: 0274-889398; 0274-882262; Fax: 0274-889057;  
E-mail: [info@plantaxia.com](mailto:info@plantaxia.com); Web: [www.plataxia.com](http://www.plataxia.com)

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 978-602-6912-04-6  
Cetakan Pertama, tahun 2015

Semua informasi tentang buku ini, silahkan scan QR Code di cover belakang buku ini



## PRAKATA

*Bismillahirrohmanirrohiim*

*Alhamdulillah*, puji syukur kepada Allah atas ridho dan kehendakNya akhirnya kami dapat menulis buku Manajemen Lingkungan untuk Akuakultur setelah sejak tahun 1995 sampai 2004 bekerja sebagai teknisi tambak udang dan sejak tahun 2005 sampai sekarang mengajar di Program Studi Budidaya Perairan Universitas Lampung. Pengalaman selama ini baik sebagai praktisi maupun akademisi dalam bidang budidaya perairan serta dorongan dari teman-teman sejawat kami berkeinginan untuk mengumpulkan materi kuliah, tesis, disertasi maupun pengalaman di lapangan menjadi buku yang dapat dijadikan sebagai referensi bagi mahasiswa maupun praktisi budidaya perairan.

Kami sangat berterima kasih kepada guru-guru kami yang telah memberikan bimbingan dan saran, teman-teman sejawat yang telah memberikan dorongan dan pendapatnya, serta mahasiswa-mahasiswa yang telah membantu dalam pengumpulan data. Semoga Allah memberikan balasan yang lebih baik, *jazakumullahu khoiron*. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada istri dan anak-anakku yang telah memberikan dorongan, semangat serta pengertiannya sehingga buku ini berhasil kami selesaikan. Semoga Allah memberikan hidayah taufiq kepada kita semua.

Kami yakin masih banyak kekurangan dalam buku ini karena keterbatasan yang kami miliki. Untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi perbaikan buku ini pada masa mendatang. *Wallahu a'lam*.

Bandar Lampung, 20 Mei 2015

Penulis,

Supono

## DAFTAR ISI

PRAKATA .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
<b>I. PERANAN LINGKUNGAN KOLAM DALAM AKUAKULTUR</b>	
1.1. Limbah Akuakultur .....	1
1.2. Lingkungan dan Penyakit Ikan .....	2
1.3. Lingkungan dan Pertumbuhan Ikan .....	5
1.4. Manajemen Pemberian Pakan vs Manajemen Kualitas Air .....	7
<b>II. KUALITAS AIR</b>	
<b>2.1. Fisika Air</b> .....	10
2.1.1. Cahaya Matahari .....	10
2.1.2. Suhu Air .....	11
2.1.3. Kekeruhan .....	12
2.1.4. Muatan padatan tersuspensi .....	14
<b>2.2. Kimia Air</b> .....	14
2.2.1. Komposisi Air .....	14
2.2.2. Salinitas .....	15
2.2.3. pH .....	16
2.2.4. Alkalinitas .....	17
2.2.5. Hardness (Kesadahan) .....	19
2.2.6. Oksigen Terlarut ( <i>Dissolved Oxygen</i> ) .....	21
2.2.7. Karbondioksida .....	23
2.2.8. Sulfur .....	25
2.2.9. Nitrogen .....	27
2.2.10. Biological Oxygen Demand (BOD) .....	29
<b>2.3. Biologi Air</b> .....	29
2.3.1. Produktivitas Primer .....	29
2.3.2. Plankton .....	31
<b>III. TANAH DASAR KOLAM</b>	
3.1. Pentingnya Manajemen Tanah Dasar Kolam .....	37
3.2. Lapisan Oksigen pada Sedimen .....	37
3.3. Pertukaran Nutrien .....	38
3.4. pH Tanah Kolam .....	39
3.5. Perlakuan Tanah Dasar Kolam .....	44
<b>IV. BENTHIC DIATOM</b>	
4.1. Benthic Algae .....	47
4.2. Diatom .....	47
4.3. Diatom Epipellic sebagai Indikator Kualitas Air .....	49

4.4. Diatom Epipellic dalam Kolam .....	50
<b>V. SENYAWA BERACUN (TOXICANT)</b>	
5.1. Amonia .....	53
5.2. Karbondioksida .....	56
5.3. Nitrit.....	58
5.4. Hidrogen sulfida (H <sub>2</sub> S).....	58
<b>VI. DINAMIKA EKOSISTEM KOLAM</b>	
6.1. Keterkaitan Alkalinitas, Karbondioksida, dan pH .....	60
6.1. 1.Karbondioksida dan pH .....	60
6.1. 2.Alkalinitas, pH, dan Karbondioksida .....	61
6.2. Lodos.....	64
6.2..1. Oksigen dan Metabolisme .....	64
6.2.2. Penyebab Lodos .....	65
6.2.3. Efek Lodos .....	67
6.2.4. Pencegahan Lodos .....	67
6.2.5. Oksigenasi .....	68
6.3. Nitrifikasi dan Denitrifikasi .....	72
6.3.1. Nitrifikasi.....	72
6.3.2. Denitrifikasi .....	73
6.4. Sedimentasi .....	74
6.5. Fitoplankton.....	76
6.5.1. Blooming Fitoplankton.....	76
6.5.2. Die Off Fitoplankton .....	77
6.5.3. Harmful Algal Blooms .....	78
<b>VII. APLIKASI BAHAN KIMIA</b>	
7.1. Prinsip Aplikasi .....	82
7.2. Oksidator .....	83
7.3. Desinfektan.....	85
7.4. Pupuk .....	88
7.5. Kapur .....	89
7.5.1. Tujuan Pengapuran .....	89
7.5.2. Jenis Kapur .....	90
7.5.3. Pengaruh Pengapuran terhadap Pemupukan .....	91
<b>VIII. SISTEM HETEROTROF (BIOFLOC) DALAM AKUAKULTUR</b>	
8.1. Sistem Autotrof dan Heterotrof .....	93
8.2. Nitrogen Anorganik .....	95
8.3. Konsep Biofloc .....	95
8.4. Bakteri dalam Sistem Biofloc .....	97
8.5. Biofloc dan Manajemen Kualitas Air .....	98
8.5.1. Amonia.....	98
8.5.2. Oksigen Terlarut.....	99

8.5.3 Alkalinitas dan pH .....	99
--------------------------------	----

**IX. PROSEDUR PENGUKURAN SAMPEL**

9.1. Kandungan Bahan Organik.....	100
9.2. Total ammonia Nitrogen (TAN) .....	100
9.3. Diatom Epipellic .....	101
9.4. Klorofil a Sedimen .....	102
9.5. Bahan Organik Sedimen .....	102
9.6. Muatan Padatan Tersuspensi.....	103
9.7. Alkalinitas .....	103
9.8. Nitrat.....	103
9.9. Fosfat .....	104
9.10. BOD <sub>5</sub> .....	104
9.11. Kelimpahan Fitoplankton .....	104
9.12. Keragaman dan Keseragaman Jenis .....	105
9.13. Klorofil a Air .....	105
9.14. pH Tanah.....	106

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>107</b>
-----------------------------	------------

## DAFTAR TABEL

No.	Keterangan	Hal
1.	Panjang gelombang spektrum cahaya matahari (Cole, 1988) .....	10
2.	Komposisi rata-rata air laut (Goldberg, 1963) .....	14
3.	Kontribusi ion-ion terhadap alkalinitas air .....	18
4.	Kelarutan oksigen (mg/1) dalam air pada suhu dan salinitas berbeda dengan tekanan 76 cm Hg (Colt, 1984).....	22
5.	Persentase H <sub>2</sub> S tidak terionisasi pada suhu dan pH yang berbeda ....	26
6.	Kelarutan nitrogen (mg/1) pada suhu dan salinitas berbeda dengan tekanan udara 76 cm Hg (Colt, 1984) .....	27
7.	Klasifikasi kandungan bahan organik tanah .....	44
8.	Dosis pengapuran berdasarkan Alkalinitas dan pH tanah .....	45
9 .	Persentase Amoniak tidak terionisasi (NH <sub>3</sub> ) pada pH dan suhu yang berbeda (Colt, 1984) .....	55
10.	Perubahan oksigen terlarut, CO <sub>2</sub> dan pH berdasarkan waktu .....	62
11.	<i>Factor corresponding</i> untuk menghitung konsentrasi CO <sub>2</sub> berdasarkan pH, temperatur, dan alkalinitas (Tucker, 1984) .....	63
12 .	Kebutuhan aerator berdasarkan biomasa udang.....	72
13.	<i>Neutralizing value</i> beberapa jenis kapur (Wurts dan Masser, 2013). .....	92

## DAFTAR GAMBAR

No.	Keterangan	Hal
1.	Aliran pakan (berat kering) dalam budidaya udang (Primavera, 1991) .....	2
2.	Interaksi antara lingkungan, kultivan dan patogen .....	3
3.	Pengaruh senyawa toksik ( <i>toxicant</i> ) terhadap ikan .....	4
4.	Pengaruh suhu dan tingkat konsumsi oksigen oleh ikan berdasarkan hukum Van Hoff's .....	6
5.	Hubungan antara input pakan dan oksigen terlarut dalam kolam ( Cole dan Boyd, 1986) .....	9
6.	Stratifikasi suhu pada kolam ikan (Boyd, 1990) .....	12
7.	<i>Secchi disk</i> .....	13
8.	Hubungan antara Keekeruhan dan partikel bahan organik di kolam ikan (Almazan dan Boyd, 1978) .....	13
9.	Fluktuasi pH harian kolam ikan .....	17
10.	Siklus harian oksigen terlarut (DO) dan karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) dalam kolam ikan.....	24
11.	Hubungan antara input pakan dan Karbodioksida dalam kolam ( Cole dan Boyd, 1986) .....	25
12.	Siklus nitrogen dalam kolam ikan (Boyd, 1990) .....	26
13.	Siklus nitrogen dalam kolam budidaya ikan (Durborow <i>et al.</i> , 1997) ..	28
14.	Hubungan kepadatan fitoplankton terhadap kandungan klorofil a ...	30
15.	Pengaruh alkalinitas dan pemupukan terhadap produktivitas fitoplankton di kolam ikan .....	34
16.	Pengaruh kepadatan fitoplankton terhadap kecerahan air kolam (Supono, 2008) .....	36
17.	Reaksi CaCO <sub>3</sub> dalam menetralkan keasaman tanah .....	40
18.	<i>Soil triangle</i> .....	41
19.	Komposisi Ordo Diatom Epipellic (Supono, 2008) .....	50
20.	Kelimpahan Genus Diatom Epipellic di tambak udang (Supono, 2008) ...	51
21.	Pengaruh KPK sedimen terhadap keragaman diatom epipellic.....	52
22.	Pengaruh kandungan liat sedimen terhadap keragaman diatom epipellic (Supono, 2008).....	52
23.	Pengaruh pH terhadap proporsi H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , dan CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> .....	53
24.	Fluktuasi pH Kolam ikan dengan alkalinitas yang berbeda .....	64
25.	Efek konsentrasi oksigen terlarut terhadap udang .....	65
26.	Kandungan oksigen terlarut di kolam pada malam hari .....	69
27.	<i>Setting</i> aerator pada tambak udang .....	71
28.	<i>Paddlewheel</i> .....	71
29.	<i>Propeller aspirator pump</i> .....	71

30. <i>Blue green algae</i> .....	81
31. Siklus nitrogen dalam kolam udang (Crab <i>et al.</i> , 2007) .....	.94
32. Konsep Biofloc .....	.97

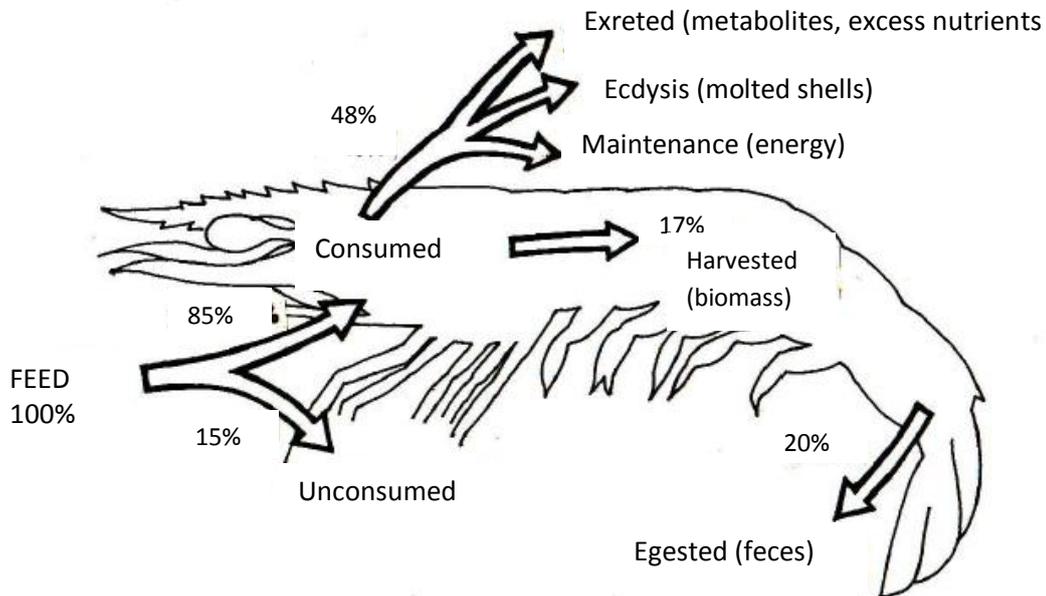
## I. PERANAN LINGKUNGAN KOLAM DALAM AKUAKULTUR

Lingkungan kolam sebagai media akuakultur memegang peranan yang besar dalam mendukung keberhasilan budidaya ikan. Lingkungan kolam yang terdiri dari air dan tanah, pada proses pembesaran ikan mengalami degradasi kualitas karena beberapa sebab, antara lain: meningkatnya limbah yang berasal dari sisa pakan, feses, dan ekskresi ikan (Hargreaves dan Tucker, 2004). Limbah tersebut baik organik maupun anorganik mempengaruhi kualitas air dan tanah seperti oksigen terlarut, pH, BOD, kekeruhan, *oxidized layer* sedimen, H<sub>2</sub>S dan lain-lainnya.

### 1.1. Limbah Akuakultur

Budidaya ikan terutama yang dikelola secara semi intensif dan intensif mempunyai permasalahan yang cukup serius mengenai degradasi kualitas air. Kepadatan penebaran (*stocking density*) dan input pakan yang tinggi menyebabkan tingginya limbah yang dihasilkan baik yang tersuspensi maupun mengendap di dasar kolam. Degradasi kualitas air selama proses budidaya ikan juga disebabkan oleh rendahnya efisiensi pakan. Menurut Primavera (1991), pakan yang diberikan pada udang, hanya 85% yang dikonsumsi sedangkan 15% tidak termakan (*uneaten feed*) sementara 20% terbuang dalam bentuk *feces* (Gambar 1). Kandungan protein yang tinggi pada pakan ikan/udang (>30%) berdampak pada tingginya kandungan nitrogen anorganik (*mobile nitrogen*) pada limbah yang dihasilkan. Menurut Avnimelech dan Ritvo (2003), hanya 25% nitrogen dari pakan yang dapat diasimilasi menjadi daging, sedangkan 75% terbuang ke lingkungan.

Dalam sistem autotrof, nitrogen anorganik dalam bentuk NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dimanfaatkan oleh fitoplankton untuk pertumbuhan. Namun, kemampuan fitoplankton dalam menyerap nitrogen anorganik tersebut sangat terbatas jika dibandingkan dengan limbah yang dihasilkan. Menurut Avnimelech (2009), kemampuan fitoplankton dalam mengasimilasi karbon berkisar 2-5gC/m<sup>2</sup>. Jika rasio C:N untuk pertumbuhan fitoplankton 5, maka kapasitas mengikat nitrogen sekitar 0,4-1 gN/m<sup>2</sup>, sehingga kapasitas mengontrol nitrogen anorganik dalam kolam hanya 0,5-1,2 kg ikan/m<sup>2</sup> atau setara dengan 5.000-12.000 kg ikan/ha.



Gambar 1. Aliran pakan (berat kering) dalam budidaya udang (Primavera, 1991)

Besarnya limbah yang dihasilkan dalam budidaya ikan/udang tidak terlepas dari rendahnya efisiensi pakan dan buruknya manajemen pemberian pakan (*feeding management*) yang berakibat tingginya nilai rasio konversi pakan (*feed conversion ratio/FCR*). Konversi pakan untuk budidaya lele secara intensif sekitar 1,1 (Supono, 2010). Hal ini berarti setiap 1,1 kg pakan menghasilkan 1 kg daging lele. Namun demikian angka tersebut tidaklah menggambarkan kondisi yang sesungguhnya karena persentase berat kering pakan dan lele tidak sama. Pakan mempunyai berat kering rata-rata 90%, sedangkan ikan lele mempunyai berat kering sekitar 25%. Berdasarkan informasi tersebut maka konversi pakan sesungguhnya dapat dihitung sebagai berikut :

Berat kering pakan yang dibutuhkan	: 1,1 kg x 90% = 0,99 kg
Berat kering ikan	: 1 kg x 25% = 0,25 kg
Rasio konversi pakan berat kering	: 0,99 : 0,25 = 3,96 ≈ 4

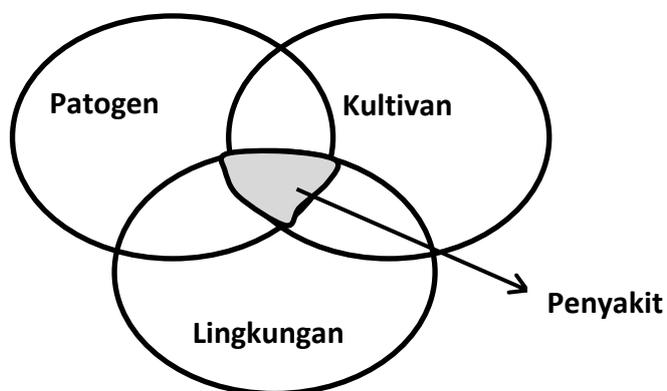
Dari hasil perhitungan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa setiap 4 kg pakan berat kering menghasilkan 1 kg ikan lele berat kering (25 %) sehingga sisanya (75%) terbuang ke lingkungan sebagai limbah.

Udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) yang dibudidayakan secara intensif mempunyai konversi pakan sekitar 1,4 (Supono, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa setiap 1,4 kg pakan berat basah (kandungan air 10%) menghasilkan 1 kg udang berat

basah. Dengan demikian jika berat kering pakan 90% dan berat kering udang 25% maka FCR berat kering dengan perhitungan yang sama di atas dapat ditentukan yaitu sebesar 5. Angka tersebut memberikan informasi bahwa setiap 5 kg pakan berat kering akan menghasilkan 1 kg udang berat kering (20%), sedangkan sisanya (80%) terbuang ke lingkungan budidaya sebagai limbah. Dengan perhitungan ini pula, FCR udang windu rata-rata 1,7 menggambarkan bahwa 16, 3% pakan diasimilasi menjadi daging udang. Hal ini mendekati penelitian yang dilakukan Primavera (1991) bahwa pakan yang diasimilasi menjadi daging udang sekitar 17%.

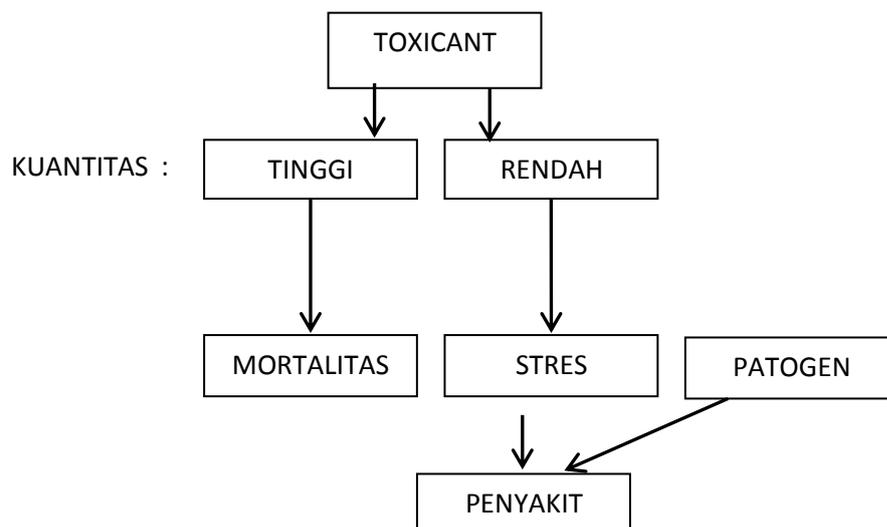
## 1.2. Lingkungan dan Penyakit Ikan

Keberhasilan budidaya ikan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain tingkat kesehatan ikan. Beberapa kasus menunjukkan bahwa penyakit menjadi penyebab utama kegagalan budidaya baik ikan maupun udang. Penyakit telah menyerang ikan di Indonesia dan menyebabkan kerugian yang besar secara ekonomi, misalnya *white spot* pada ikan lele yang disebabkan oleh *Aeromonas hydrophila* dan *koi herpes virus* (KHV) pada ikan mas dan koi. Begitu juga dengan udang seperti *white spot syndrome virus* (WSSV), *infectious myonecrosis virus* (IMNV), maupun *taura syndrome virus* (TSV). Salah satu penyebab utama merebaknya penyakit tersebut adalah terjadinya degradasi lingkungan kolam. Penyakit pada ikan akan muncul jika terjadi interaksi antara kondisi lingkungan yang jelek, keberadaan patogen, dan kondisi ikan lemah seperti yang terdapat pada Gambar 2 (Anderson, 1974).



Gambar 2. Interaksi antara lingkungan, kultivan dan patogen

Menurunnya kualitas lingkungan akan menyebabkan patogen dan plankton berbahaya (*harmful plankton*) seperti Dinoflagellata dan *blue green algae* (BGA) berkembang dengan pesat. Limbah organik yang dihasilkan dalam budidaya ikan akan mempengaruhi kualitas air lainnya. Suhu, pH, polutan, salinitas, amoniak, hidrogen sulfida dan oksigen terlarut selain mempengaruhi populasi patogen dalam kolam juga mempengaruhi ketahanan ikan terhadap infeksi penyakit. Oksigen terlarut yang rendah (<4 mg/l) dapat menyebabkan pertumbuhan lambat, nafsu makan turun, kondisi udang lemah bahkan dapat menyebabkan kematian dan merangsang pertumbuhan bakteri anaerob di dasar kolam (Boyd, 1990). Kualitas air yang buruk karena meningkatnya senyawa-senyawa beracun (*toxicant*) seperti amoniak, nitrit maupun H<sub>2</sub>S dapat mempengaruhi tingkat kesehatan ikan. Dalam konsentrasi rendah senyawa tersebut menyebabkan stres pada ikan yang dapat menurunkan daya tahan tubuh sehingga peluang terjadinya infeksi pada ikan semakin besar. Sementara dalam konsentrasi tinggi senyawa tersebut dapat menyebabkan kematian seperti yang terdapat pada Gambar 3 (Austin, 1999).

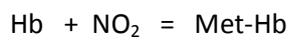


Gambar 3. Pengaruh senyawa toksik (*toxicant*) terhadap ikan  
 Hubungan tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*), penyakit dan kualitas air dijelaskan oleh Duraiapah *et al.* (2000) dengan persamaan fungsi :

$$Survival\ rate = F(disease, stress)$$

*Survival rate* dipengaruhi oleh keberadaan penyakit dan kondisi ikan (stres). Stres dapat menyebabkan penurunan imunitas udang bahkan bisa menyebabkan kematian (Zonneveld *et al.*, 1991). Keberadaan penyakit baik populasi maupun keganasannya serta kondisi ikan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (kualitas air). Konsentrasi lewat jenuh seperti oksigen terlarut dan nitrogen dapat menyebabkan penyakit non infeksi gelembung gas atau *gas bubble trauma* (GBT).

Nitrogen anorganik yang terakumulasi dalam kolam dalam bentuk amonia ( $\text{NH}_3$ ) dapat menyebabkan intoksikasi pada ikan dan udang (Zonneveld *et al.*, 1991). Kadar amonia yang tinggi di kolam dapat menyebabkan: meningkatnya kadar amonia dalam darah, meningkatnya konsumsi oksigen, terjadi kerusakan insang, menurunnya kemampuan darah dalam transportasi oksigen, dan ikan mudah terserang penyakit. Selain amonia, bentuk nitrogen anorganik yang sering muncul dalam budidaya udang adalah nitrit. Nitrit diabsorpsi oleh ikan melalui insang dan bereaksi dengan hemoglobin membentuk met-Hb :



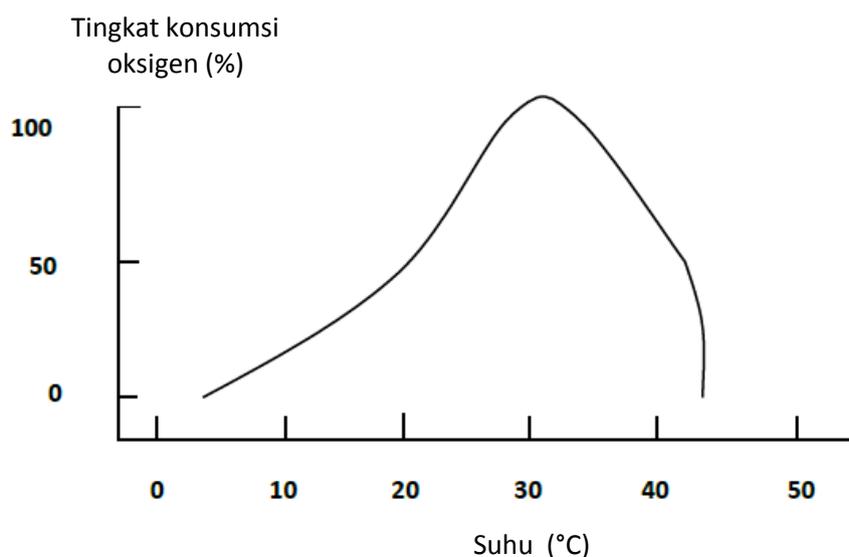
Nitrit beracun karena met-Hb tidak dapat menangkap oksigen sehingga menghambat kerja dari hemoglobin darah (Durborow *et al.*, 1997). Darah yang banyak mengandung *methemoglobin* akan berwarna coklat menyebabkan penyakit "*brown blood disease*". Hal yang sama berlaku pada Crustacea yang mengandung *haemocyanin*. Warna coklat muda terjadi jika konsentrasi *methemoglobin* 20-30% dari total hemoglobin, jika melebihi 50% akan berwarna coklat (Boyd, 1990).

### **1.3. Lingkungan dan Pertumbuhan ikan**

Kualitas air kolam sangat mempengaruhi pertumbuhan ikan yang dibudidayakan. Kualitas yang baik (sesuai standar budidaya) akan mendukung pertumbuhan yang optimal. Sebaliknya, kualitas air yang jelek dapat menurunkan nafsu makan ikan yang berakibat pada pertumbuhan terhambat. Degradasi kualitas air akan menyebabkan stres pada ikan bahkan dapat menyebabkan kematian dan menurunkan tingkat kelulushidupan (*survival rate*) yang pada akhirnya dapat menurunkan biomasa

ikan yang dipelihara. Sebaliknya jika kualitas air baik maka pertumbuhan ikan akan cepat dan tingkat kelangsungan hidup tinggi sehingga biomasanya meningkat.

Beberapa parameter kualitas air yang mempengaruhi pertumbuhan dan tingkat kelangsungan ikan antara lain : suhu, oksigen terlarut, pH, dan salinitas air. Menurut Goddard (1996), suhu dan oksigen terlarut merupakan faktor utama yang mempengaruhi nafsu makan, metabolisme, dan pertumbuhan ikan. Suhu air sangat berpengaruh terhadap proses kimia maupun biologi dalam air. Hubungan Reaksi kimia dan biologi dan suhu mengikuti hukum Van Hoff's yaitu naik dua kali setiap terjadi kenaikan suhu 10°C. Aktivitas metabolisme organisme akuatik juga naik dan penggunaan oksigen terlarut menjadi dua kali lipat. Penggunaan oksigen terlarut dalam penguraian bahan organik juga meningkat secara drastis (Howerton, 2001). Berdasarkan pada penelitian Jackson dan Wang (1998), pertumbuhan udang windu (*P. monodon*) pada suhu 30°C dengan umur 180 hari mencapai 34 g dan pada suhu 20°C hanya mencapai 20 g pada umur yang sama. Sedangkan berdasarkan penelitian Wasielesky (2003) tentang metabolisme udang putih (*L. vannamei*) pada suhu 23°C, 27°C, dan 30°C menunjukkan bahwa nafsu makan udang paling tinggi terjadi pada suhu 30°C. Hubungan antara suhu dan konsumsi oksigen pada ikan terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh suhu dan tingkat konsumsi oksigen oleh ikan berdasarkan hukum Van Hoff's

Oksigen terlarut mempengaruhi *feed intake*, resistensi terhadap penyakit, dan metabolisme ikan. Penelitian Boyd (2014) menunjukkan bahwa penurunan kandungan oksigen terlarut dalam air akan menurunkan tingkat kelangsungan hidup dan produksi udang serta menaikkan konversi pakan (*feed conversion ratio/FCR*). Sementara itu fluktuasi pH air yang besar (>0,5) mempengaruhi nafsu makan ikan. Nilai pH yang tinggi (>8) akan meningkatkan kandungan amonia dalam air yang dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan ikan.

Salinitas air mempengaruhi tingkat kerja osmotik (TKO) ikan. Perbedaan tekanan osmotik pada darah ikan atau hemolim pada udang dan air kolam yang besar menyebabkan ikan dan udang akan banyak kehilangan energi untuk adaptasi sehingga pertumbuhan menjadi lambat. Sebagai contoh tekanan osmotik hemolim udang putih PL 11 pada fase premolt rata-rata 933,89 m Osm/l H<sub>2</sub>O atau setara dengan 32 ppt, sedangkan pada fase intermolt rata-rata 861 m Osm/l H<sub>2</sub>O atau 29,5 ppt (supono *et al.*, 2014) sehingga pada rentang salinitas tersebut larva udang putih akan tumbuh optimal. Menurut Anggoro dan Muryati (2006), tekanan osmotik pada fase premolt dan intermolt merupakan salinitas yang baik untuk pertumbuhan ikan/udang.

#### **1.4. Manajemen Pemberian Pakan Vs Manajemen Lingkungan**

Pakan berperan sangat besar dalam mencapai keberhasilan budidaya ikan. Biaya pakan mencapai lebih dari 50% dari biaya total (Hasan *et al.*, 2012) sehingga perlu adanya manajemen pemberian pakan yang baik untuk mendukung keberhasilan budidaya. Tingkat pemberian pakan dalam budidaya ikan ada tiga kondisi, yaitu : *under feeding*, *optimum* dan *over feeding*. Pemberian pakan yang *under feeding* akan menyebabkan pertumbuhan lambat, nilai konversi pakan tinggi tetapi tidak mengalami penurunan kualitas air. Pemberian pakan *over feeding* akan menyebabkan pertumbuhan cepat pada awal budidaya, penurunan kualitas air dan tanah, nilai konversi pakan tinggi, dan sering diikuti infeksi penyakit. Pemberian pakan yang *optimum* akan meningkatkan pertumbuhan, kualitas air terjaga, dan efisiensi pakan (Davis *et al.*, 2006).

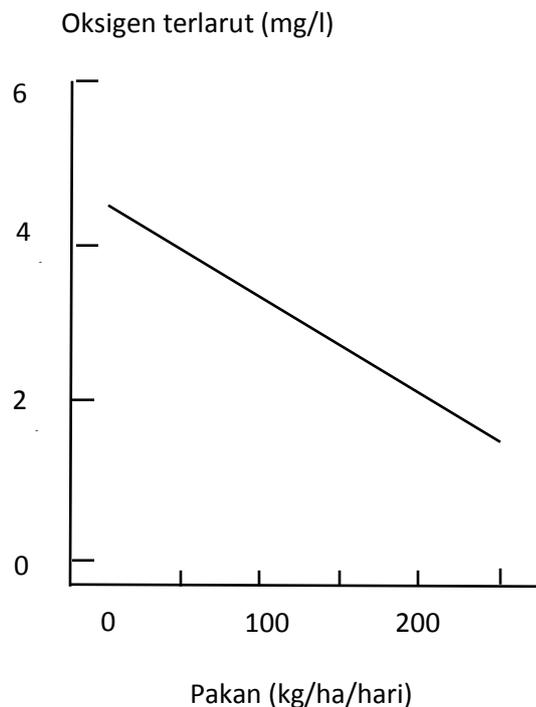
Pemberian pakan yang optimum dapat dilakukan dengan beberapa metode sesuai dengan *feeding habit* dari kultivan yang dibudidayakan. Ada tiga metode pemberian pakan yang biasa digunakan dalam budidaya ikan, yaitu *ad libitum*, *ad satiation*, dan *restricted feed*. Metode *ad libitum* mengharuskan pakan tersedia setiap waktu dalam media budidaya sehingga kultivan dapat mengkonsumsi setiap saat. Pada metode *ad satiation*, kultivan diberi pakan hingga kenyang sampai tidak menunjukkan reaksi bila diberi makan, sedangkan metode *restricted feed*, kultivan diberi pakan dengan jumlah tertentu sesuai persentase biomasa (El-Sayed, 2006). Metode *ad libitum* banyak digunakan untuk pembenihan yang menggunakan pakan hidup (*live feed*) dimana pakan tersedia setiap saat pada media budidaya dalam kondisi segar. Metode *ad satiation* biasa digunakan untuk jenis ikan yang mempunyai kebiasaan makan naik ke permukaan air seperti ikan nila, karper, dan lele. Metode *restricted feed* digunakan untuk kultivan yang kebiasaan makannya di dasar kolam, seperti udang.

Manajemen pemberian pakan dan manajemen lingkungan dalam budidaya ikan mempunyai hubungan yang erat dan saling mempengaruhi. Manajemen pakan yang buruk akan mempengaruhi kualitas air, begitu juga manajemen lingkungan yang buruk akan menurunkan konsumsi pakan oleh ikan. Efisiensi pakan yang rendah membutuhkan strategi pemberian pakan yang tepat untuk mencegah degradasi kualitas air. Kualitas air mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan yang secara ekonomi akan mempengaruhi produktivitas kolam. Metode pemberian, frekuensi, dan tingkat pemberian pakan ditujukan untuk mengoptimalkan pakan, menurunkan konversi pakan, serta mengurangi limbah yang dihasilkan sebagai efek samping (Goddard, 1996).

Input pakan ke dalam kolam direncanakan serta dibatasi sesuai dengan *carrying capacity* ekosistem kolam. Pakan diberikan sesuai dengan kebutuhan ikan untuk pertumbuhan namun juga mempertimbangkan kemampuan ekosistem kolam dalam mengasimilasi limbah dan menjaga konsentrasi oksigen terlarut yang cukup. Jika pakan yang diberikan melebihi *carrying capacity* maka akan menyebabkan kualitas air memburuk yang diindikasikan dengan rendahnya kandungan oksigen terlarut lain (Davis

et al., 2006). Hubungan konsentrasi oksigen terlarut dalam kolam dan input pakan dijelaskan oleh Cole dan Boyd (1986) seperti yang terdapat pada Gambar 5. Input pakan merupakan sumber utama limbah organik yang ada di dasar kolam, baik berupa pakan yang tidak dikonsumsi (*uneaten feed*) maupun feses. Limbah organik tersebut dapat menghambat difusi oksigen ke dalam tanah sehingga lapisan tanah yang mengandung oksigen (*oxidized layer*) menjadi hilang (Boyd et al., 2002).

Sebaliknya, lingkungan berpengaruh terhadap input pakan dalam kolam. Suhu dan kandungan oksigen terlarut berperan penting dalam konsumsi pakan, metabolisme, dan pertumbuhan ikan (Goddard, 1996). Pada saat cuaca mendung, suhu air turun menyebabkan nafsu makan berkurang sehingga perlu penyesuaian *feeding rate*. Begitu juga dengan kandungan oksigen terlarut dalam air yang rendah sebagai akibat dari kandungan bahan organik yang tinggi (Zonneveld et al., 1991), *die off fitoplankton*, maupun *blooming* fitoplankton (Brunson et al., 1994) menyebabkan penurunan nafsu makan ikan sehingga perlu adanya koreksi *feeding rate* untuk meminimalisir sisa pakan.



Gambar 5. Hubungan antara input pakan dan oksigen terlarut dalam kolam ( Cole dan Boyd, 1986)

## II. KUALITAS AIR

### 2.1. Fisika Air

#### 2.1.1. Cahaya matahari

Cahaya matahari mempunyai peranan yang sangat besar terhadap kualitas air secara keseluruhan, karena dapat mempengaruhi reaksi-reaksi yang terjadi dalam air. Penetrasi cahaya matahari ke dalam air terutama dipengaruhi oleh sudut jatuh cahaya terhadap garis vertikal. Semakin besar sudut jatuhnya, maka penetrasi cahaya matahari semakin menurun. Kemampuan air untuk meneruskan cahaya kedalamnya dipengaruhi oleh turbiditas. Cahaya akan berubah kualitas spektrumnya dan turun intensitasnya setelah menembus masa air karena dispersi dan absorpsi yang berbeda-beda oleh lapisan air. Pada air murni kira-kira 53% dari cahaya yang masuk akan ditransformasi ke dalam bentuk panas dan akan padam pada kedalaman kurang dari satu meter (Boyd, 1990). Cahaya dengan panjang gelombang panjang (merah dan jingga) dan panjang gelombang pendek (violet) lebih cepat padam dibandingkan dengan panjang gelombang sedang atau *intermediate* (biru, hijau, kuning). Panjang gelombang masing-masing spektrum cahaya terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Panjang gelombang spektrum cahaya matahari (Cole, 1988)

No	Spektrum Cahaya	Panjang Gelombang (nm)
1	Ungu (violet)	400
2	Biru	460
3	Hijau	520
4	Kuning	580
5	Oranye	620
6	Merah	700

Cahaya matahari sangat diperlukan oleh tumbuhan air sebagai sumber energi untuk melakukan fotosintesis. Sebagai produsen primer, tumbuhan hijau melakukan fotosintesis untuk menghasilkan oksigen dan bahan organik, yang akan

dimanfaatkan oleh hewan yang lebih tinggi tingkatannya dalam rantai makanan (Ghosal *et al.*, 2000). Persentase absorpsi cahaya dapat dihitung berdasarkan persamaan Wetzel (1975) sebagai berikut :

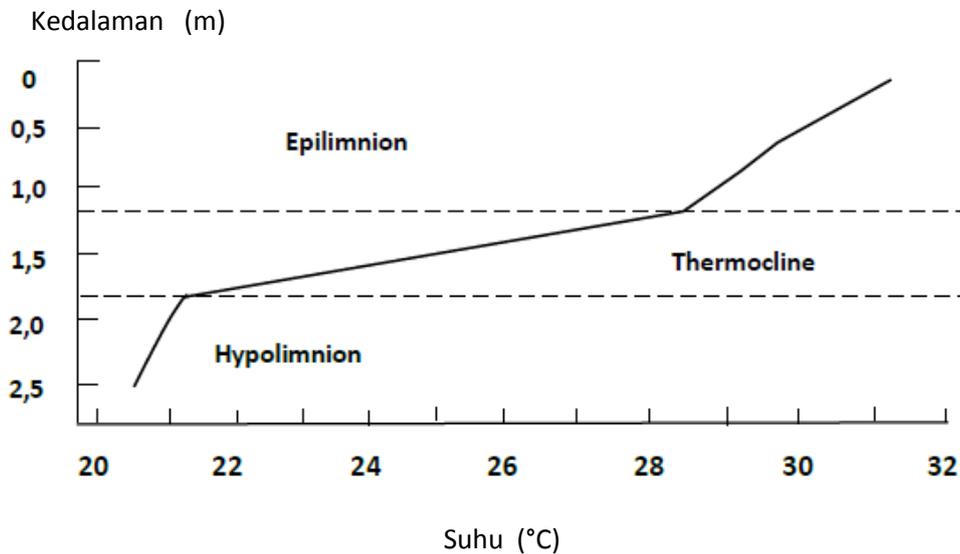
$$PA = \frac{(I_0 - I_z)}{I_0} \times 100\%$$

dimana PA : Persentase absorpsi  
I<sub>0</sub> : Intensitas cahaya pada permukaan  
I<sub>z</sub> : Intensitas cahaya pada kedalaman Z

### 2.1.2. Suhu air

Suhu air dipengaruhi oleh: radiasi cahaya matahari, suhu udara, cuaca dan lokasi. Radiasi matahari merupakan faktor utama yang mempengaruhi naik turunnya suhu air. Sinar matahari menyebabkan panas air di permukaan lebih cepat dibanding badan air yang lebih dalam. Densitas air turun dengan adanya kenaikan suhu sehingga permukaan air dan air yang lebih dalam tidak dapat tercampur dengan sempurna. Hal ini akan menyebabkan terjadinya stratifikasi suhu (*thermal stratification*) dalam badan air, dimana akan terbentuk tiga lapisan air yaitu: *epilimnion*, *hypolimnion* dan *thermocline* (Gambar 6). *Epilimnion* adalah lapisan atas yang suhunya tinggi. *Hypolimnion* ialah lapisan bawah yang suhunya rendah. Sedangkan *thermocline* adalah lapisan yang berada di antara *epilimnion* dan *hypolimnion* yang suhunya turun secara drastis (Boyd, 1990).

Air mempunyai kapasitas yang besar untuk menyimpan panas sehingga suhunya relatif konstan dibandingkan dengan suhu udara (Boyd, 1990). Perbedaan suhu air antara pagi dan siang hari hanya sekitar 2°C, misalnya suhu pagi 28°C suhu siang 30°C. Energi cahaya matahari sebagian besar diabsorpsi di lapisan permukaan air. Semakin ke dalam energinya semakin berkurang. Konsentrasi bahan-bahan terlarut di dalam air akan menaikkan penyerapan panas. Terjadinya transfer panas dari lapisan atas ke lapisan bawah tergantung dari kekuatan pengadukan air (angin, kincir, dan sebagainya).



Gambar 6. Stratifikasi suhu pada kolam ikan (Boyd, 1990)

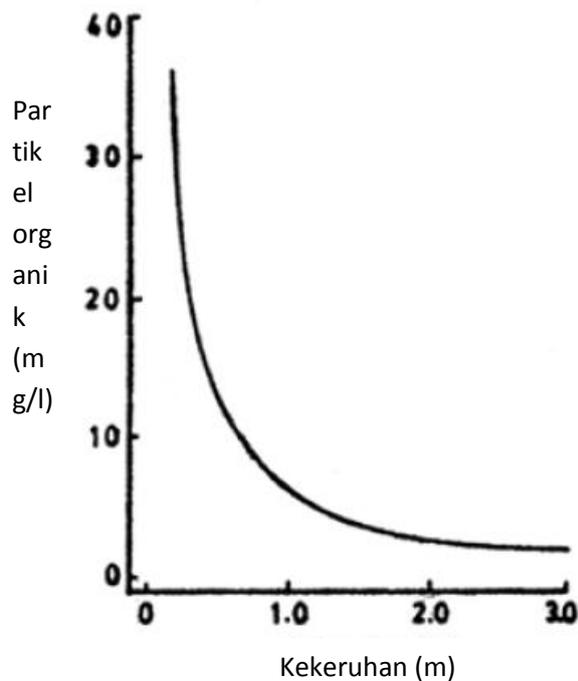
### 2.1.3. Kekerusuhan

Kekerusuhan (*turbidity*) perairan dipengaruhi oleh bahan-bahan halus yang melayang-layang dalam air baik berupa bahan organik seperti plankton, jasad renik, detritus maupun berupa bahan anorganik seperti lumpur dan pasir (Hargreaves, 1999). Dalam kolam budidaya, kepadatan plankton memegang peranan paling besar dalam menentukan kekerusuhan meskipun partikel tersuspensi dalam air juga berpengaruh. Plankton tersebut akan memberikan warna hijau, kuning, biru-hijau, dan coklat pada air. Kedalaman air yang dipengaruhi oleh sinar matahari (*photic zone*) di danau atau tambak sekitar dua kali nilai pengamatan dengan menggunakan *secchi disk* (Boyd, 2004). *Secchi disk* (Gambar 7) merupakan piringan dengan diameter 20 cm berwarna hitam dan putih yang digunakan untuk mengukur kedalaman penetrasi sinar matahari ke dalam badan air. Semakin kecil kekerusuhan berarti semakin kecil sinar matahari yang masuk sampai dasar tambak yang dapat mempengaruhi aktivitas biota di daerah tersebut.



Gambar 7. *Secchi disk*

Menurut Boyd and Lichtkoppler (1979) kekeruhan kurang dari 30 cm yang disebabkan oleh tanah liat dapat mencegah terjadinya blooming plankton. Kekeruhan antara 30-60 cm baik untuk pertumbuhan ikan. Kekeruhan diatas 60 cm mengakibatkan menurunnya oksigen terlarut dan sinar matahari dapat mencapai dasar kolam sehingga mendorong tumbuhnya tumbuhan air (*macrophyte*). Menurut Santhosh dan Singh (2007) kekeruhan antara 30 sampai 40 cm mengindikasikan produktivitas kolam yang optimum untuk budidaya ikan. Hubungan antara kekeruhan dan partikel bahan organik dijelaskan oleh Almazan dan Boyd (1978) seperti yang terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan antara Kekeruhan dan partikel bahan organik di kolam ikan (Almazan dan Boyd, 1978)

#### 2.1.4. Muatan padatan tersuspensi

Muatan padatan tersuspensi (MPT) berasal dari zat organik dan anorganik. Komponen organik terdiri dari fitoplankton, zooplankton, bakteri dan organisme renik lainnya. Sedangkan komponen anorganik terdiri dari detritus partikel-partikel anorganik (Hargreaves, 1999). Muatan padatan tersuspensi berpengaruh terhadap penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air. Hal ini berpengaruh pada tingkat fotosintesis tumbuhan hijau sebagai produsen primer yang memanfaatkan sinar matahari sebagai energi utama. Keekeruhan karena plankton jika tidak berlebihan bermanfaat bagi ekosistem kolam. Jika densitas plankton terlalu tinggi akan menyebabkan fluktuasi beberapa kualitas air seperti pH dan oksigen terlarut.

## 2.2. Kimia Air

### 2.2.1. Komposisi Air

Tujuh ion yang mendominasi sebagai zat-zat terlarut baik sebagai kation maupun anion adalah: klor, natrium, sulfat, magnesium, kalsium, kalium dan bikarbonat. Sedangkan ion-ion yang lain jumlahnya kecil. Air laut mempunyai konsentrasi ion-ion terlarut lebih besar dibanding air payau dan tawar, air payau lebih banyak dari air tawar (Boyd, 1990).

Komposisi air laut sebenarnya sangat kompleks, disamping paling tinggi konsentrasi zat-zat yang terlarut di dalamnya. Klor dan natrium merupakan ion-ion yang paling tinggi konsentrasinya. Data komposisi rata-rata tujuh ion air laut terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi rata-rata air laut (Goldberg, 1963)

No	Ion	Konsentrasi (mg/l)
1	Cl	19.000
2	Na	10.500
3	SO <sub>4</sub>	2.700
4	Mg	1.350
5	Ca	400
6	K	380
7	HCO <sub>3</sub>	142

### 2.2.2. Salinitas

Salinitas dapat didefinisikan sebagai total konsentrasi ion-ion terlarut dalam air. Dalam budidaya perairan, salinitas dinyatakan dalam permil (‰) atau ppt (*part per thousand*) atau gram/liter. Tujuh ion utama yaitu: sodium, potasium, kalium, magnesium, klorida, sulfat dan bikarbonat mempunyai kontribusi besar terhadap besarnya salinitas, sedangkan yang lain dianggap kecil (Boyd, 1990). Ion kalsium (Ca), potasium (K), dan magnesium (Mg) merupakan ion yang paling penting dalam menopang tingkat kelulushidupan udang (Davis *et al.*, 2004),.

Klasifikasi perairan berdasarkan salinitas menurut Fast (1986) adalah sebagai berikut :

1. Air Tawar : < 0.5 ppt
2. Air Payau :
  - Oligohaline* : 0.5 - 3.0 ppt
  - Mesohaline* : 3.0 - 16.5 ppt
  - Polihaline* : 16.5 - 30 ppt
3. Air Asin :
  - Marine* : 30 - 40 ppt
  - Brine (hyperhaline)* : > 40 ppt

Di perairan bebas besarnya kadar garam ditentukan oleh pencampuran antara air tawar dari sungai dan air asin dari laut, serta dipengaruhi juga oleh curah hujan dan tingkat evaporasi pada perairan tersebut. Pengelolaan salinitas kolam terutama untuk udang di air payau sangat penting mengingat pada fase tertentu, udang tumbuh cepat pada salinitas rendah. Untuk menentukan besarnya salinitas suatu perairan (kolam) yang menggunakan dua sumber air yang berbeda, dapat ditentukan dengan perhitungan yang menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S_n = \frac{(S_1V_1) + (S_2V_2)}{(V_1 + V_2)}$$

- $S_n$  : Salinitas yang dikehendaki (ppt)
- $S_1$  : Salinitas air kolam (ppt)
- $S_2$  : Salinitas air yang ditambahkan (ppt)
- $V_1$  : Volume air kolam ( $m^3$ )
- $V_2$  : Volume air yang ditambahkan ( $m^3$ )

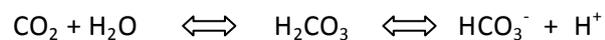
Salinitas berpengaruh terhadap tekanan osmotik air. Semakin tinggi salinitas, semakin tinggi tekanan osmotik air, sehingga mempengaruhi tingkat kerja osmotik (TKO) ikan. Ikan sangat sensitif terhadap perubahan salinitas yang mendadak. Pada salinitas > 45 ppt ikan sangat sulit untuk beradaptasi. Beberapa jenis ikan mempunyai kisaran yang lebar terhadap salinitas misalnya ikan nila (*Tilapia nilotica*) dan udang putih (*Litopenaeus vannamei*).

### 2.2.3. pH

Definisi pH adalah logaritme negatif dari konsentrasi ion hidrogen [H<sup>+</sup>] yang mempunyai skala antara 0 sampai 14.

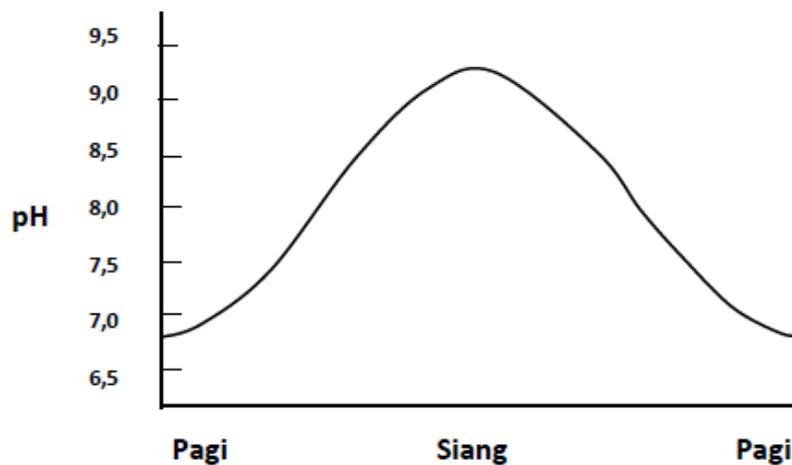
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Nilai pH mengindikasikan apakah air tersebut netral, basa atau asam. Air dengan pH di bawah 7 termasuk asam dan di atas 7 termasuk basa. pH merupakan variabel kualitas air yang dinamis dan berfluktuasi sepanjang hari. Pada perairan umum yang tidak dipengaruhi aktivitas biologis yang tinggi, nilai pH jarang mencapai di atas 8,5, tetapi pada kolam ikan atau udang, pH air dapat mencapai 9 atau lebih (Boyd, 2002). Perubahan pH ini merupakan efek langsung dari fotosintesis yang menggunakan CO<sub>2</sub> selama proses tersebut. Karbon dioksida dalam air bereaksi membentuk asam seperti yang terdapat pada reaksi (Wurts dan Durborow, 1992) :



Ketika fotosintesis terjadi pada siang hari, CO<sub>2</sub> banyak terpakai dalam proses tersebut. Turunnya konsentrasi CO<sub>2</sub> akan menurunkan konsentrasi H<sup>+</sup> sehingga menaikkan pH air. Sebaliknya pada malam hari semua organisme melakukan respirasi yang menghasilkan CO<sub>2</sub> sehingga pH menjadi turun (Gambar 9). Fluktuasi pH yang tinggi dapat terjadi jika densitas fitoplankton tinggi. Tambak dengan total alkalinitas yang tinggi mempunyai fluktuasi pH yang lebih rendah dibandingkan dengan tambak yang beralkalinitas rendah. Hal ini disebabkan kemampuan total alkalinitas sebagai buffer atau penyangga (Boyd, 2002).

pH berpengaruh terhadap toksisitas beberapa senyawa kimia dalam air. Daya racun amonia meningkat dengan meningkatnya pH. Amonia yang tidak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ) konsentrasinya lebih tinggi pada perairan dengan pH tinggi. Sedangkan amonia terionisasi ( $\text{NH}_4^+$ ) lebih banyak ditemukan pada perairan dengan pH rendah. Sementara itu sulfida dalam bentuk  $\text{H}_2\text{S}$  akan meningkat seiring dengan turunnya nilai pH (Boyd, 1990).



Gambar 9. Fluktuasi pH harian kolam ikan

Selain mempengaruhi variabel kualitas air, pH juga mempengaruhi aktivitas ikan. Ikan dan vertebrata lainnya mempunyai pH darah sekitar 7,4 (Wurts dan Durborow, 1992), sehingga pH yang air kolam yang sesuai adalah yang mendekati nilai tersebut. Ikan akan mengalami stres jika pH diibawah 5 dan produktivitas kolam rendah jika pH di bawah 6 (Wilkinson, 2002). Menurut Swingle (1969), ikan akan tumbuh baik jika pH air sekitar 6,5-9, sedangkan pada pH 4-5 akan mengalami pertumbuhan lambat serta mengalami kematian pada pH 10.

#### 2.2.4. Alkalinitas

Alkalinitas merupakan kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa menaikkan pH larutan. Alkalinitas merupakan buffer terhadap pengaruh pengasaman. Dalam budidaya perairan, alkalinitas dinyatakan dalam mg/l  $\text{CaCO}_3$ .

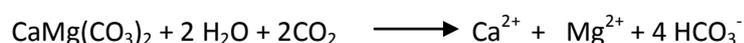
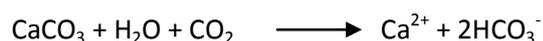
Penyusun utama alkalinitas adalah anion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidroksida ( $\text{OH}^-$ ), borat ( $\text{BO}_3^-$ ), fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), dan silikat ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) seperti yang terdapat pada Tabel 3 (Millero, 1999).

Tabel 3. Kontribusi ion-ion terhadap alkalinitas air

No	Ion	Kontribusi terhadap Alkalinitas (%)
1	Bikarbonat	89,8
2	Karbonat	6,7
3	Borat	2,9
4	Silikat	0,2
5	Hidroksida	0,1
6	Fosfat	0,1

Jumlah basa dalam air akan menentukan total alkalinitas. Basa yang biasa ditemukan dalam kolam ikan adalah karbonat, bikarbonat, hidroksida, fosfat, dan borat. Karbonat dan bikarbonat paling banyak dan paling penting dalam alkalinitas. Kisaran total alkalinitas yang dikehendaki untuk budidaya ikan adalah antara 75 dan 200 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . Alkalinitas karbonat–bikarbonat di permukaan dan air tanah dihasilkan terutama melalui interaksi antara  $\text{CO}_2$  dan kapur (*limestone*) (Wurts dan Durborow, 1992).

Air hujan secara alami bersifat asam karena karbondioksida di atmosfer. Air tanah juga mempunyai konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang tinggi, yang disebabkan oleh proses bakterial dalam tanah dan bermacam-macam bentuk mineral yang dilewati air. Air tanah atau air hujan yang mengalir melalui tanah dan batuan yang mengandung  $\text{CaCO}_3$  dan dolomit. Asam yang dihasilkan oleh  $\text{CO}_2$  akan melarutkan kapur dan membentuk kalsium magnesium bikarbonat.



Air yang dihasilkan akan meningkatkan alkalinitas, pH dan *hardness* (Wurts dan Durborow, 1992).

Peranan penting alkalinitas dalam kolam ikan antara lain menekan fluktuasi pH pagi dan siang dan penentu kesuburan alami perairan. Kolam dengan alkalinitas tinggi akan mengalami fluktuasi pH harian yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tambak dengan nilai alkalinitas rendah (Boyd, 2002). Menurut Davis *et al.* (2004), penambahan kapur dapat meningkatkan nilai alkalinitas terutama tambak dengan nilai total alkalinitas dibawah 75 ppm. Alkalinitas juga berperan dalam biosintesis tumbuhan air seperti yang dijelaskan oleh Stumm dan Morgan (1996) dengan reaksi sebagai berikut :



Dimana  $\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}$  merupakan formula dari tanaman air (alga). Berdasarkan reaksi tersebut setiap 1 gram amonium yang diserap oleh fitoplankton untuk pembentukan jaringan tubuh membutuhkan 3,13 gram alkalinitas dan 18,07 karbondioksida.

Pada kolam budidaya, dimana fotosintesis merupakan sumber utama oksigen terlarut dalam air, karbonat dan bikarbonat berfungsi sebagai penyimpan kelebihan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan sebagai sumber  $\text{CO}_2$  ketika kekurangan  $\text{CO}_2$  (*buffer system*). Tanpa adanya sistem penyangga,  $\text{CO}_2$  bebas akan membentuk asam karbonat dalam jumlah yang banyak, sehingga dapat menurunkan pH secara drastis pada malam hari hingga mencapai 4,5. Pada saat puncak fotosintesis, sebagian besar  $\text{CO}_2$  bebas digunakan oleh fitoplankton, sehingga pH dapat mencapai lebih dari 10 (Boyd, 2002).

#### 2.2.5. Hardness (Kesadahan)

*Hardness* (kesadahan) merupakan kandungan kation-kation yang bervalensi dua yang ada dalam air. Dalam budidaya perairan dinyatakan dalam mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ . *Hardness* selalu didominasi oleh kation kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sedangkan kation bervalensi dua lainnya dianggap kecil, sehingga dalam perhitungan *hardness* bisa diabaikan (Wurts dan Masser, 2013). Oleh karena itu jika yang diperhitungkan hanya kandungan kalsium dan magnesium saja maka total *hardness* (mg  $\text{CaCO}_3/ \text{l}$ ) merupakan penjumlahan dari *calcium hardness* dan *magnesium hardness*.

*Hardness* diukur dengan menggunakan titrasi kimia. *Hardness* ditentukan dalam mg/l sebagai kalsium karbonat (mg CaCO<sub>3</sub>/l). Kalsium karbonat *hardness* adalah bagian umum yang mengindikasikan kuantitas total garam bervalensi dua ada namun tidak spesifik apakah kalsium, magnesium, atau kation bervalensi dua lainnya yang menyebabkan *hardness* air tinggi (Wurts dan Durborow, 1992). *Hardness* hampir sama dengan alkalinitas karena mempunyai ukuran yang sama yaitu mg/l CaCO<sub>3</sub> tinggi (Boyd, 1990). Jika kapur berperan pada pembentukan *hardness* dan alkalinitas, konsentrasinya akan sama, namun jika sodium bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) berperan pada pembentukan alkalinitas, mungkin akan mempunyai *hardness* rendah dan alkalinitas tinggi (Wurts dan Durborow, 1992).

Jika alkalinitas total dan *hardness* total sama menunjukkan bahwa kalsium dan magnesium berasosiasi dengan karbonat dan bikarbonat. Ketika total alkalinitas total melebihi *hardness* total sebagian karbonat dan bikarbonat bereaksi dengan potasium dan sodium. Jika *hardness* total lebih besar dari alkalinitas total, sebagian kalsium dan magnesium akan bereaksi dengan sulfat, klor, silikat dan nitrat (Boyd, 1990).

Kalsium dan magnesium sangat penting dalam proses biologi ikan (pembentukan tulang, pembekuan darah, dan reaksi metabolisme lainnya). Ikan dapat mengabsorpsi kalsium dan magnesium langsung dari air atau makanan. Meskipun kalsium merupakan garam bervalensi dua yang sangat penting pada budidaya ikan, kehadiran kalsium bebas dalam air membantu mengurangi kehilangan garam lain (*sodium* (Na) dan *potassium* (K) dari cairan tubuh ikan (darah). *Sodium* dan *potassium* merupakan pembentuk garam terpenting dalam darah ikan dan kritis untuk hati, saraf, dan fungsi otak. Kalsium dibutuhkan untuk menyerap kembali garam yang hilang. Dalam air yang rendah kalsiumnya, ikan dapat kehilangan *sodium* dan *potassium* ke dalam air (Wurts dan Durborow, 1992).

Ikan dan udang mempunyai toleransi yang tinggi terhadap kalsium *hardness*, namun kisaran kalsium bebas yang direkomendasikan untuk budidaya adalah 75-250 mg/l (Wurts dan Masser, 2013). *Channel catfish* dapat menoleransi konsentrasi kalsium rendah selama pakannya mengandung kalsium mineral minimum, tetapi akan tumbuh lambat dibawah kondisi ini. *Rainbow trout* dapat menoleransi air dengan

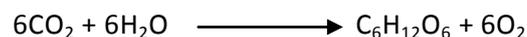
konsentrasi kalsium bebas 10 mg/l jika pH diatas 6,5. Nilai *hardness* CaCO<sub>3</sub> yang rendah merupakan indikasi kuat bahwa konsentrasi kalsium rendah. Meskipun demikian, *hardness* yang tinggi tidak merefleksikan konsentrasi kalsium yang tinggi (Wurts dan Durborow, 1992).

Nilai *hardness* CaCO<sub>3</sub> 100 mg/l setara dengan konsentrasi kalsium bebas 40 mg/l (nilai CaCO<sub>3</sub> dibagi 2,5), jika *hardness* disebabkan hanya oleh kalsium. Hal yang sama terjadi, nilai CaCO<sub>3</sub> 100 mg/l mewakili nilai magnesium bebas 24 mg/l (nilai CaCO<sub>3</sub> dibagi 4,12) jika *hardness* hanya disebabkan oleh magnesium. Faktor 2,5 dan 4,12 diperoleh dari berat molekul CaCO<sub>3</sub> dan perbedaan berat atom antara kalsium dan magnesium (Wurts dan Durborow, 1992).

Kandungan *hardness* dalam air dapat ditingkatkan dengan perlakuan beberapa jenis kapur, misalnya dolomit dan kapur pertanian (Boyd, 1990) Kapur pertanian dapat digunakan untuk menaikkan konsentrasi kalsium (dan alkalinitas karbonat–bikarbonat) di daerah dengan air atau tanah asam. Meskipun demikian, pada pH 8,3 atau lebih kaptan tidak akan larut (Wurts dan Durborow, 1992).

#### **2.2.6. Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)**

Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) merupakan variabel kualitas air yang sangat penting dalam budidaya ikan/udang. Semua organisme akuatik membutuhkan oksigen terlarut untuk metabolisme, baik ikan, bakteri, maupun fitoplankton. Oksigen masuk dalam air melalui beberapa proses. Oksigen dapat terdifusi secara langsung dari atmosfer setelah terjadi kontak antara permukaan air dengan udara yang mengandung oksigen 21% (Boyd, 1990). Fotosintesis tumbuhan air merupakan sumber utama oksigen terlarut dalam air berdasarkan persamaan reaksi :



Sumber oksigen lainnya dalam kolam budidaya ikan adalah aerator atau kincir air (Boyd, 1998) dan pergantian air (*water exchange*), baik karena air baru membawa oksigen terlarut yang lebih tinggi atau melalui mekanisme pergerakan air. Pada saat cuaca mendung atau hujan dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton

karena kekurangan sinar matahari untuk proses fotosintesis. Kondisi ini akan menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut karena oksigen tidak dapat diproduksi sementara organisme akuatik tetap mengkonsumsi oksigen (Brunson *et al.*, 1994). Keterbatasan sinar matahari menembus badan air dapat juga disebabkan oleh tingginya partikel yang ada dalam kolom air, baik karena bahan organik maupun densitas plankton yang terlalu tinggi. Hal ini dapat menyebabkan terganggunya fotosintesis *microalgae* yang ada di kolam (Hargreaves, 1999).

Aktivitas fotosintesis di dalam air pada waktu siang hari menyebabkan konsentrasi DO perairan kolam sering naik di atas saturasi atau supersaturasi. Pada kondisi seperti ini oksigen akan terlepas ke udara. Tingkat saturasi sering dinyatakan dalam persen saturasi dan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\% \text{ Saturasi} = (\text{Konsentrasi DO air} \div \text{Konsentrasi DO saturasi}) \times 100\%$$

Kelarutan oksigen dalam air dipengaruhi oleh suhu dan salinitas. Semakin tinggi suhu dan salinitas maka kelarutan oksigen dalam air semakin rendah, begitu juga sebaliknya (Colt, 1984). Kelarutan oksigen dalam air berdasarkan suhu dan salinitas terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kelarutan oksigen (mg/l) dalam air pada suhu dan salinitas berbeda dengan tekanan 76 cm Hg (Colt, 1984).

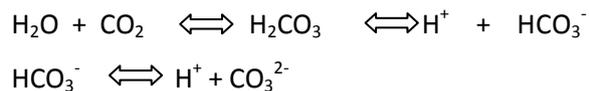
Suhu °C	Salinitas (ppt)					
	10	15	20	25	30	35
25	7.79	7.57	7.36	7.15	6.95	6.75
26	7.65	7.44	7.23	7.03	6.83	6.64
27	7.51	7.31	7.10	6.91	6.72	6.53
28	7.38	7.18	6.98	6.79	6.61	6.42
29	7.26	7.06	6.87	6.68	6.50	6.32
30	7.14	6.94	6.75	6.57	6.39	6.22
31	7.02	6.83	6.64	6.47	6.29	6.12
32	6.90	6.72	6.54	6.36	6.19	6.03
33	6.79	6.61	6.43	6.26	6.10	5.91
34	6.68	6.51	6.33	6.17	6.01	5.85
35	6.58	6.40	6.24	6.07	5.91	5.76

- % Saturasi < 100% maka DO di bawah saturasi
- % Saturasi = 100% maka DO pada saturasi
- % Saturasi > 100% maka DO di atas saturasi

Penggunaan oksigen terlarut dalam kolam budidaya ikan terdiri dari respirasi ikan, difusi ke udara, respirasi plankton, dan respirasi sedimen dasar (Boyd, 1990). Tingginya kepadatan tebar dan pemberian pakan dapat menyebabkan turunnya konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Sisa pakan (*uneaten feed*) dan sisa hasil metabolisme mengakibatkan tingginya kebutuhan oksigen untuk menguraikannya (Zonneveld *et al.*, 1991). Kemampuan ekosistem kolam budidaya untuk menguraikan bahan organik terbatas sehingga dapat menyebabkan rendahnya konsentrasi oksigen terlarut (Wurts, 1993).

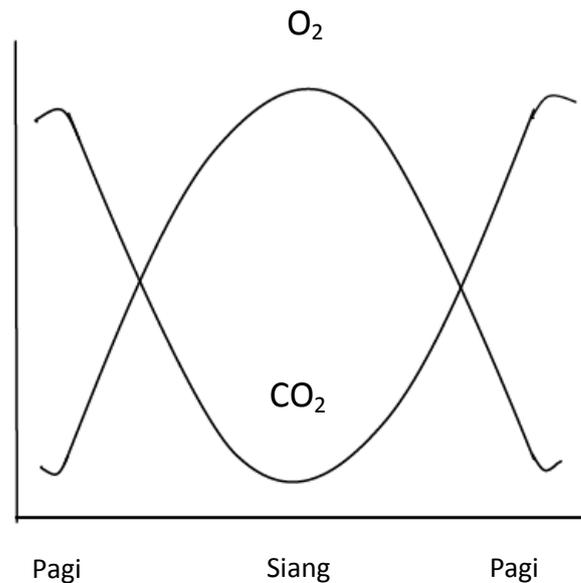
### 2.2.7. Karbondioksida

Sumber utama karbondioksida dalam air adalah hasil respirasi organisme yang terdiri dari ikan, bakteri, dan plankton. Fitoplankton pada siang hari melakukan fotosintesis tetapi pada malam hari melakukan respirasi. Ikan dapat hidup dengan baik pada konsentrasi CO<sub>2</sub> di bawah 10 mg/l. Pada konsentrasi 20 mg/l, CO<sub>2</sub> dapat mempengaruhi metabolisme ikan. Karbondioksida merupakan bahan utama proses fotosintesis tumbuhan air. Tanpa adanya karbondioksida, fotosintesis tidak akan berjalan. Karbondioksida mempengaruhi pH air, karena bereaksi dengan air yang membentuk asam lemah (asam karbonat). Asam karbonat akan terdesosiasi menjadi bikarbonat dan ion hidrogen (H<sup>+</sup>) yang bersifat asam serta karbonat (Millero *et al.*, 2002) seperti yang terdapat pada reaksi berikut ini :



Keberadaan karbondioksida dalam perairan terdapat dalam bentuk gas karbondioksida bebas (CO<sub>2</sub>), ion bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ion karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) dan asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Kandungan karbondioksida di dalam air merupakan fungsi dari aktivitas biologi, baik respirasi maupun fotosintesis. Jika respirasi lebih tinggi dari pada fotosintesis, karbondioksida akan meningkat. Karbondioksida pada kolam ikan biasanya

pagi hari lebih tinggi dibanding siang hari yang tercermin dari rendahnya nilai pH. Berkaitan dengan fotosintesis dan respirasi, keberadaan karbondioksida dalam kolam ikan berbanding terbalik dengan kandungan oksigen terlarut (Gambar 10).

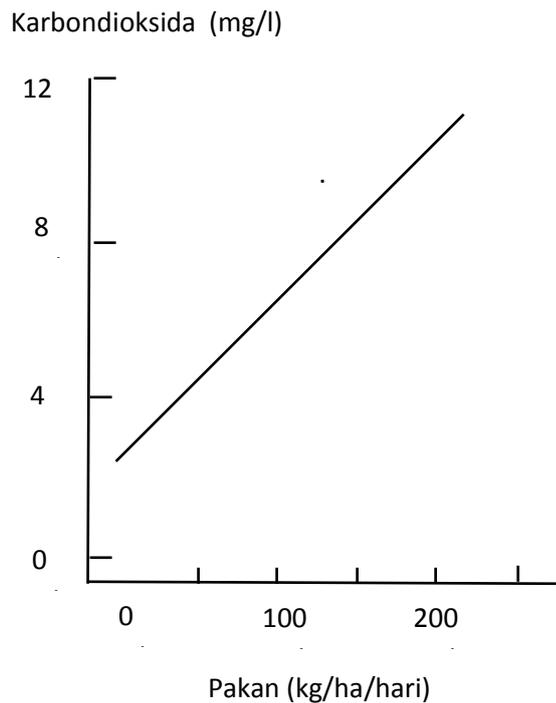


Gambar 10. Siklus harian oksigen terlarut (DO) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dalam kolam ikan

Sumber karbondioksida dalam perairan berasal dari air hujan, difusi dari atmosfer, air tanah dan respirasi organisme air. Air hujan secara teoritis mengandung 0,55-0,60 mg/l karbondioksida (Effendi, 2003). Meskipun kandungan karbondioksida sangat sedikit di atmosfer, tapi kelarutannya di air sangat tinggi (Boyd, 1990). Air tanah yang melewati tanah organik akan mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme menghasilkan karbondioksida (Wurts dan Masser, 2013). Respirasi tumbuhan dan hewan merupakan sumber utama karbondioksida dalam perairan. Disamping itu dekomposisi bahan organik oleh bakteri baik aerob maupun anaerob menghasilkan karbondioksida sebagai produk akhir.

Karbondioksida dalam kolam ikan/udang sebagian besar berasal dari respirasi ikan, fitoplankton, zooplankton, dan bakteri. Semakin tinggi biomasa ikan semakin tinggi pula karbondioksida yang dihasilkan. Begitu juga dengan dekomposisi bahan organik oleh bakteri, semakin tinggi bahan organik semakin besar pula karbondioksida yang

dihasilkan. Hal ini mengandung konsekuensi jika input pakan ke kolam semakin tinggi maka karbondioksida yang dihasilkan juga semakin banyak seperti yang dijelaskan oleh Cole dan Boyd (1986) pada Gambar 11

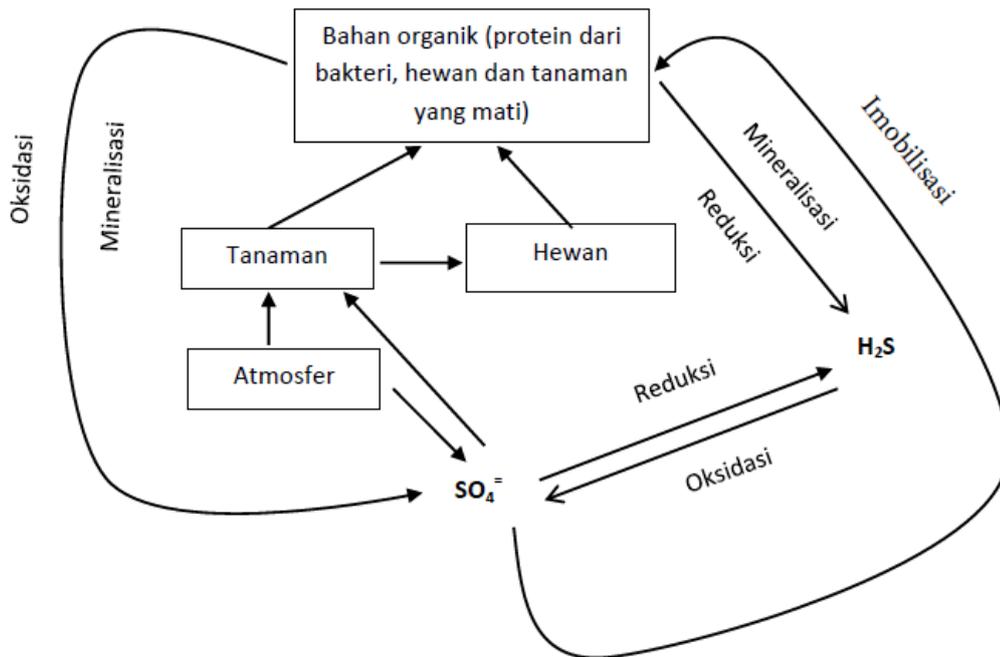


Gambar 11. Hubungan antara input pakan dan Karbodioksida dalam kolam ( Cole dan Boyd, 1986)

#### 2.2.8. Sulfur

Siklus sulfur sangat dipengaruhi oleh aktivitas biologis di dalam perairan. Sulfur yang berasal dari bahan organik kebanyakan terdapat dalam bentuk protein. Bakteri memecah bahan organik dan menggunakan sulfur untuk membentuk jaringan tubuhnya dan bahan tersisa berupa mineral. Dalam keadaan aerobik, sulfur akan dimineralisasi menjadi sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) tetapi sebaliknya dalam keadaan anaerobik akan dimineralisasi menjadi asam sulfida. Tanaman akan mengubah sulfat menjadi sulfur organik. Apabila tanaman dimakan oleh hewan maka berpindah menjadi jaringan tubuh hewan tersebut. Jika hewan tersebut mati, bahan organik tersebut akan diuraikan kembali oleh bakteri. Bakteri heterotropik memanfaatkan ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) untuk proses metabolismenya dan

menghasilkan belerang (S) (Boyd, 1990). Siklus nitrogen dalam kolam ikan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Siklus sulfur dalam kolam ikan (Boyd, 1990)

Keberadaan  $H_2S$  dalam perairan dipengaruhi oleh beberapa variabel kualitas air, antara lain suhu dan pH (Colt, 1984). Persentase terbentuknya  $H_2S$  dalam perairan berdasarkan suhu dan pH terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Persentase  $H_2S$  tidak terionisasi pada suhu dan pH yang berbeda

pH	Suhu °C			
	26	28	30	32
7.0	49.7	48,2	46,6	45.0
7.5	23.8	22,7	21,6	20.6
8.0	9.0	8,5	8,0	7.6
8.5	3.0	2,9	2,7	2.5
9.0	1.0	0,9	0,9	0.8

## Nitrogen

### a. Kelarutan Nitrogen

Nitrogen merupakan gas yang paling besar jumlahnya di atmosfer, mencapai 78% dari total gas di udara (Boyd, 1990). Kelarutan nitrogen di dalam air dipengaruhi oleh suhu dan salinitas (Colt, 1984). Seperti pada oksigen dan karbondioksida, tingkat kelarutan nitrogen semakin menurun dengan adanya kenaikan suhu dan salinitas, sebagaimana terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kelarutan nitrogen (mg/l) pada suhu dan salinitas berbeda dengan tekanan udara 76 cm Hg (Colt, 1984)

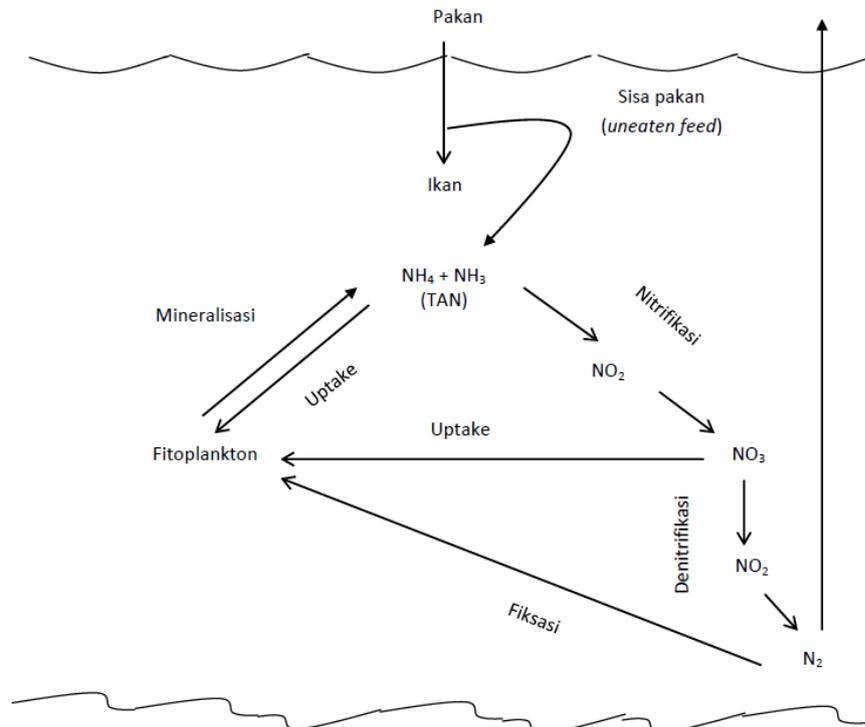
Suhu (°C)	Salinitas (ppt)				
	10	15	20	25	30
20	13,96	15,52	13,09	12.68	12,28
25	12,82	12,43	12,05	11.69	11,33
30	11,85	11,5	11,17	10.84	10,52
35	11,02	10,71	10,4	10.10	9,82

### b. Siklus Nitrogen

Siklus nitrogen di alam terjadi dalam empat proses, yaitu : fiksasi nitrogen, amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi (Durborow *et al.*, 1997). Kandungan nitrogen yang sangat besar di udara tidak bisa langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Fiksasi nitrogen dari udara dilakukan oleh *nitrogen-fixing bacteria* seperti *Rhizobium*. Fiksasi nitrogen dari udara dapat terjadi karena pengaruh sambaran petir. Petir akan menyebabkan nitrogen bereaksi membentuk nitrat dan masuk ke perairan melalui hujan. Amonifikasi atau mineralisasi merupakan reaksi penguraian organisme yang mati (nitrogen organik) seperti tumbuhan, ikan, maupun bakteri menjadi amonia (nitrogen anorganik) dengan bantuan bakteri proteolitik, seperti : *Pseudomonas* dan *Clostridium*.

Nitrifikasi merupakan proses penguraian amonia menjadi nitrat yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Melalui nitrifikasi, amonia akan dioksidasi oleh bakteri menjadi nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Sedangkan denitrifikasi merupakan proses penguraian nitrat menjadi gas nitrogen dengan bantuan bakteri heterotrof seperti *Bacillus*. Melalui proses denitrifikasi, nitrat akan direduksi oleh bakteri

menjadi nitrit dan dari nitrit menjadi amonia atau  $N_2$ . Siklus nitrogen dalam kolam budidaya ikan terdapat pada Gambar 13.



Gambar 13. Siklus nitrogen dalam kolam budidaya ikan (Durborow *et al.*, 1997)

Bakteri dan algae yang hidup di dalam air sebagian besar mengambil nitrogen anorganik dalam bentuk nitrat ( $NO_3^-$ ) dan amonium ( $NH_4^+$ ) (Boyd, 1990) sebagai bahan untuk membentuk protein. Beberapa jenis algae dari *blue green algae* (BGA) dapat mengikat  $N_2$  dari udara. Nitrogen anorganik tersebut akan diubah menjadi nitrogen organik dalam tanaman (*algae*). Hewan herbivora dan omnivora selanjutnya akan memanfaatkan tanaman sebagai makanannya, dengan demikian terjadi perpindahan nitrogen dari tanaman ke dalam hewan pemangsanya. Sebagian tanaman dan hewan yang mati termasuk ikan dan mikroorganisme akan mengalami dekomposisi oleh bakteri menghasilkan amoniak. Bakteri proteolitik akan menguraikan protein menjadi nitrogen anorganik (amonia)

melalui proses amonifikasi atau mineralisasi. Hasil ekskresi hewan perairan sebagian juga dalam bentuk amonia (Durborow *et al.*, 1997).

#### **2.2.9. Biological Oxygen Demand (BOD)**

Kebutuhan oksigen biologi (*biological oxygen demand/BOD*) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi. Waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi bahan organik secara sempurna menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O adalah tidak terbatas. Penghitungan nilai BOD biasanya dilakukan pada hari ke 5 karena pada saat itu persentase reaksi cukup besar, yaitu 70-80% dari nilai BOD total (Sawyer dan MC Carty, 1978).

Bahan organik yang ada dalam kolam ikan mayoritas terbagi dalam tiga bentuk, yaitu karbohidrat (CHO), senyawa nitrogen (CHONS), dan lipid (CHO) (Tebbut, 1992). Karbohidrat merupakan bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen, misalnya glukosa dan selulosa. Senyawa nitrogen merupakan bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan kadang-kadang sulfur, misalnya protein. Lipid merupakan bahan organik yang mengandung karbon, hidrogen, dan sedikit oksigen. Dekomposisi bahan organik tersebut membutuhkan oksigen melalui respirasi bakteri pengurai. Menurut Bovendeur *et al.* (1987), setiap satu kilogram makanan yang diberikan membutuhkan 543 gram oksigen untuk menguraikannya.

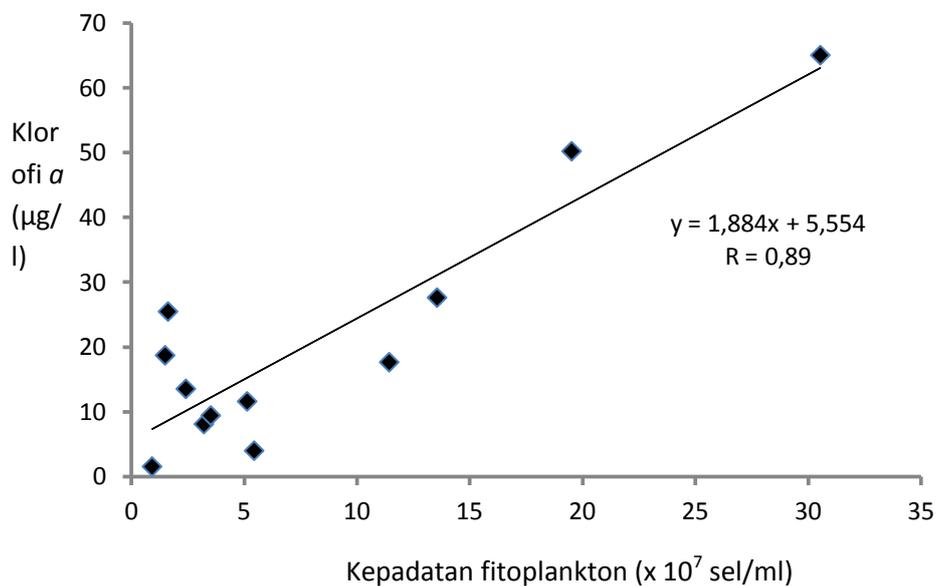
### **2.3. Biologi Air**

#### **2.3.1. Produktivitas Primer**

Dalam kolam budidaya, tumbuhan air baik *macrophyte* maupun *microphyte* merupakan produsen primer sebagai sumber utama bahan organik. Melalui proses fotosintetis, tanaman menggunakan karbondioksida, air, cahaya matahari dan nutrisi untuk menghasilkan bahan organik dan oksigen seperti dalam reaksi:



Fotosintesis merupakan proses fundamental dalam kolam budidaya. Oksigen terlarut yang diproduksi melalui fotosintesis merupakan sumber utama oksigen bagi semua organisme dalam ekosistem kolam (Howerton, 2001). Pada proses fotosintesis, klorofil *a* pada fitoplankton berperan sangat penting. Kandungan klorofil *a* dalam air akan meningkat dengan meningkatnya kepadatan fitoplankton (Supono, 2008), seperti yang terdapat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hubungan kepadatan fitoplankton terhadap kandungan klorofil *a* (Supono, 2008)

Glukosa atau bahan organik yang dihasilkan merupakan penyusun utama material organik yang lebih besar dan kompleks. Hewan yang lebih tinggi tingkatannya dalam rantai makanan menggunakan material organik ini baik secara langsung dengan mengkonsumsi tanaman atau mengkonsumsi organisme yang memakan tanaman tersebut (Ghosal *et al.* 2000).

Proses biologi lainnya yang sangat penting dalam budidaya perairan adalah respirasi, dengan reaksi :



Dalam respirasi, bahan organik dioksidasi dengan menghasilkan air, karbon dioksida dan energi. Pada waktu siang hari proses fotosintesis dan respirasi berjalan secara

bersama-sama. Pada malam hari hanya proses respirasi yang berlangsung, sehingga konsentrasi oksigen terlarut dalam air turun sedangkan konsentrasi karbon dioksida naik (Boyd, 1990). Kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik akan dibahas lebih lanjut pada bab Dinamika Ekosistem Kolam.

Kedua proses tersebut mempunyai pengaruh langsung dalam budidaya perairan. Oksigen terlarut dibutuhkan organisme untuk hidup sedangkan fitoplankton merupakan sumber utama oksigen terlarut disamping sebagai penyusun utama rantai makanan dalam ekosistem kolam budidaya. Salah satu cara untuk menentukan status suatu ekosistem perairan adalah dengan menghitung fotosintesis:respirasi rasio (*P:R ratio*). Jika *P:R ratio* lebih kecil dari satu (1) maka perairan tersebut termasuk heterotropik, dimana karbon lebih banyak digunakan untuk respirasi dibandingkan yang dihasilkan dari fotosintesis. Sedangkan jika *P:R ratio* lebih besar dari satu (1) menunjukkan perairan tersebut termasuk autotrofik, dimana karbon lebih banyak diproduksi dari pada digunakan untuk respirasi (Eyre dan Ferguson, 2002).

### **2.3.2. Plankton**

Plankton merupakan organisme yang penting dalam suatu perairan terutama dalam budidaya perairan. Plankton merupakan makanan dasar yang merupakan mata rantai bagi kehidupan hewan-hewan air yang lebih tinggi tingkatannya. Istilah plankton pertama kali diperkenalkan oleh Victor Hensen pada tahun 1887 untuk membedakan organisme hidup dengan partikel abiotik yang tersuspensi di dalam perairan. Plankton merupakan organisme hidup yang ukurannya relatif kecil, tidak memiliki daya gerak (bila ada sangat kecil), melayang-layang di dalam air dan tidak mampu menentang arus (Basmji, 1999). Plankton dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Fitoplankton: berasal dari kelompok tumbuhan berklorofil yang dapat berfotosintesis, didominasi oleh kelompok alga dan sebagian kecil kelompok jamur dan bakteri. Fitoplankton mempunyai fungsi sebagai penyuplai utama oksigen bagi organisme akuatik, sumber makanan zooplankton, penyerap gas-

gas beracun seperti  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  serta sebagai indikator tingkat kesuburan perairan.

2. Zooplankton: berasal dari kelompok hewan yang didominasi oleh kelompok Crustacea, Rotifera dan Protozoa. Zooplankton memiliki fungsi sebagai pakan alami organisme akuatik dan melalui proses rantai makanan dapat mengendalikan pertumbuhan fitoplankton.

#### **a. Fitoplankton**

Tumbuhan air (*algae*) terbagi menjadi dua, yaitu *macroalgae* dan *microalgae*. *Macroalgae* merupakan tumbuhan air makroskopis yang menempel pada substrat seperti *Sargasum*, *Caulerpa*, *Ulva*, dan *Chaetomorpha*. Fitoplankton merupakan *microalgae* yang hidup melayang-layang dalam air, bersifat fototaksis positif dan mampu melakukan fotosintesis sehingga mampu memanfaatkan senyawa anorganik sebagai sumber makanan. Fungsi utama fitoplankton dalam budidaya perairan antara lain :

1. sebagai pakan alami
2. penghasil oksigen terlarut pada siang hari
3. menyerap senyawa beracun dalam air (misalnya amoniak)
4. sebagai peneduh (*shading*) bagi ikan/udang
5. sebagai indikator kualitas air

Fitoplankton dapat dikatakan sebagai pembuka kehidupan di planet bumi ini, karena dengan adanya Fitoplankton memungkinkan makhluk hidup yang lebih tinggi tingkatannya ada di muka bumi. Fitoplankton, dengan sifat yang autotrof, mampu merubah hara anorganik menjadi bahan organik dan penghasil oksigen yang sangat mutlak diperlukan bagi kehidupan makhluk yang lebih tinggi tingkatannya.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kelimpahan dan dominasi fitoplankton antara lain cahaya matahari, nutrien (Boyd, 2009), dan alkalinitas (Boyd, 1990). Cahaya matahari berperan besar dalam ekosistem budidaya perairan. Cahaya matahari digunakan fitoplankton sebagai energi pada reaksi fotosintesis. Sebagian energi dirubah menjadi energi kimia yang tersimpan dalam molekul gula (Boyd, 1990). Laju fotosintesis akan tinggi bila intensitas cahaya tinggi dan menurun bila intensitas cahaya berkurang.

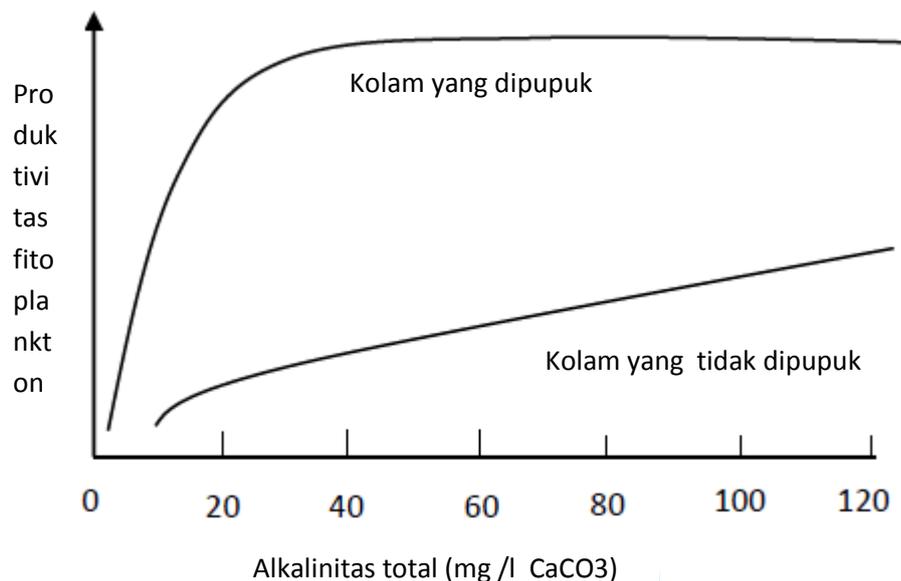
Kelimpahan fitoplankton dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Intensitas cahaya yang terlalu kuat akan merusak enzim fito-oksidatif fitoplankton akibatnya fitoplankton yang tidak tahan akan mati. Beberapa kelas fitoplankton seperti Cyanophyceae (*blue green algae*-BGA) dapat tumbuh baik pada intensitas cahaya yang tinggi sedangkan untuk Chlorophyceae dan Diatom menjadi faktor penghambat.

Nutrien berperan besar dalam pertumbuhan fitoplankton dalam ekosistem perairan. Produktivitas fitoplankton di kolam yang diberi pupuk (1,76 mg C/l/jam) lebih besar dari pada kolam yang tidak diberi pupuk (0,86 mg C/l/jam) (Boyd, 1990). Nutrien dibutuhkan untuk pertumbuhan fitoplankton. Keberadaan fitoplankton berkaitan erat dengan nutrisi yang tersedia, terutama karbon, nitrogen, fosfor, kalium, serta silika untuk kelompok diatom. Sumber karbon yang dapat dimanfaatkan fitoplankton sebagian besar adalah karbon anorganik dalam bentuk Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan bicarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Karbondioksida di perairan kolam berasal dari difusi dari udara dan proses respirasi organisme heterotrof dan autotrof serta dekomposer (bakteri pengurai). Biasanya  $\text{CO}_2$  tersedia dalam konsentrasi yang mencukupi dan bukan sebagai faktor pembatas bagi pertumbuhan fitoplankton. Karbon anorganik tersebut akan diubah menjadi karbohidrat dalam proses fotosintesis.

Nitrogen dan fosfor merupakan faktor pembatas bagi pertumbuhan fitoplankton. Jenis nitrogen yang dapat dimanfaatkan secara langsung adalah ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), sedangkan bentuk fosfor adalah *orthophosphate* ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Hubungan keduanya lebih dikenal dengan rasio N:P. Rasio N:P yang tepat akan menghasilkan pertumbuhan fitoplankton yang tepat pula, sehingga akan terjadi stabilitas ekosistem kolam melalui berbagai mekanisme (Chien, 1992). Apabila rasio nutrisi tersebut tidak tepat, maka muncul fitoplankton dari kelompok yang tidak diharapkan, misalnya *Oscillatoria*, sehingga dapat mengganggu stabilitas lingkungan. Adanya perbedaan rasio N:P yang terdapat di perairan merupakan indikasi timbulnya perbedaan jenis fitoplankton yang mendominasi perairan tersebut sehingga menimbulkan warna yang berbeda. Rasio N:P dapat dihitung dengan membagi jumlah nitrogen anorganik (amoniak+nitrat+nitrit) dengan fosfor anorganik dalam bentuk *orthophosphate* ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Menurut Boyd (2009), perbandingan rasio N:P yang diharapkan

untuk menumbuhkan jenis Chlorophyceae dan Bacillariophyceae (Diatom) adalah 10-20. Perbandingan N:P yang rendah (<10) akan menumbuhkan Cyanophyta atau *blue green algae* sedangkan dinoflagellata yang menyebabkan air berwarna merah dan dapat menimbulkan racun akan tumbuh subur pada rasio N:P 10. Kalium dan Silika merupakan nutrisi yang banyak dimanfaatkan oleh fitoplankton jenis Bacillariophyceae (Diatom). Nutrien ini digunakan sebagai salah satu sumber elemen untuk membentuk komposisi frustula pada lapisan sel Bacillariophyceae dalam proses asimilasi (Basmi, 1999).

Ketersediaan alkalinitas dalam perairan juga berperan dalam meningkatkan produktivitas fitoplankton. Alkalinitas berperan dalam pembentukan jaringan tubuh fitoplankton (Stumm dan Morgan, 1996). Semakin tinggi kandungan alkalinitas semakin tinggi pula produktivitas fitoplankton. Pengaruh alkalinitas dan pemupukan terhadap produktivitas fitoplankton dijelaskan oleh Boyd (1990) pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengaruh alkalinitas dan pemupukan terhadap produktivitas fitoplankton di kolam ikan

### b. Zooplankton

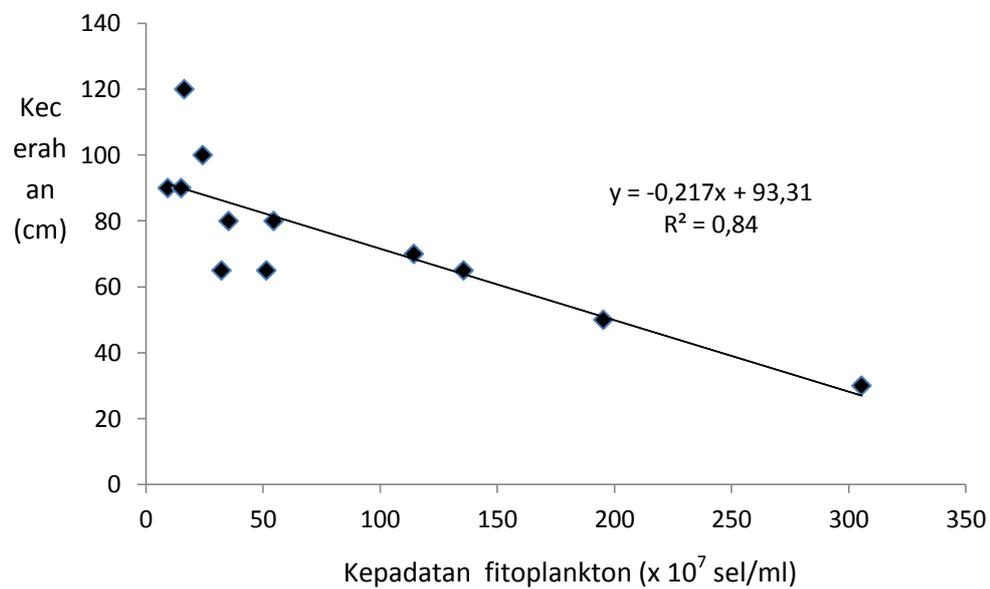
Kebanyakan kelompok zooplankton yang sering dijumpai adalah bersifat holoplankton yang berasal dari filum atau kelas invertebrate yang hidup di perairan. Terdapat 11 jenis phylum zooplankton yang ada di perairan di antaranya adalah

Protozoa, *Cnidaria*, *Ctenophora*, Nemertea, Aschelminthes, Mollusca, Annelida, *Arthropoda*, *Chaetognatha*, *Echinodermata*, *Chordata*. Diperkirakan mayoritas dari 11 jenis filum atau kelas invertebrata tersebut berupa zooplankton yang bersifat holoplankton yang banyak didominasi dari golongan Protozoa, Rotifera dan Crustacea, serta beberapa dari jenis Polychaeta dan Mollusca. Karakteristik yang khas dari zooplankton adalah memiliki alat gerak walaupun pergerakannya dipengaruhi arus seperti *flagell*, *cilia*, *pseudopodia* sampai kaki yang sebenarnya.

#### **d. Plankton di kolam budidaya**

Fitoplankton yang sering ditemukan dan mendominasi di perairan laut maupun kolam budidaya ikan/udang terdapat dalam lima divisi, di antaranya: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta (Diatom), Dinoflagellata dan Euglenophyta (Boyd, 1990). Chlorophyta dan Bacillariophyta merupakan jenis fitoplankton yang diharapkan tumbuh dominan di tambak budidaya sedangkan jenis Cyanophyta (*blue green algae*-BGA) dan Dinoflagellata pada tambak budidaya tidak diharapkan mendominasi (Boyd, 2009). Jenis zooplankton yang banyak ditemui di kolam di antaranya banyak didominasi oleh kelas Crustacea (Copepoda dan Cladocera), Rotifera, ciliata, Polychaeta dan Mollusca. Keberadaan jenis fitoplankton dan zooplankton sangat penting terutama pada awal penebaran (*stocking*) karena larva ikan dan udang tidak dapat menggunakan pakan buatan seefisien ikan/udang dewasa (Conte, 2000, Adhikari, 2003).

Sebagai indikasi dari keanekaragaman, dominasi, dan kepadatan fitoplankton adalah timbulnya perbedaan warna dan kecerahan yang terjadi di setiap kolam. Semakin padat fitoplankton, semakin rendah kecerahan air kolam (Gambar 16). Beberapa warna air sebagai indikasi dari keanekaragaman dan dominasi plankton di antaranya : hijau tua, hijau, hijau muda, hijau coklat, coklat tua, coklat, coklat muda, putih susu, dan coklat kemerahan.



Gambar 16. Pengaruh kepadatan fitoplankton terhadap kecerahan air kolam

### III. TANAH DASAR KOLAM

#### 3.1. Pentingnya Manajemen Tanah Dasar Kolam

Sering kita jumpai kolam dengan perlakuan atau pemupukan yang sama, sumber air yang sama tetapi plankton yang dihasilkan berbeda atau bahkan dengan benih yang sama dan jumlah yang sama tetapi biomasa ikan/udang yang dihasilkan berbeda pula. Mengapa hal ini bisa terjadi?. Salah satu faktor yang mempengaruhi hal ini adalah tingkat kesuburan tanah yang akan menentukan kesuburan kolam secara keseluruhan. Konstruksi kolam yang berbeda seperti kolam tanah (*earthen pond*), kolam plastik (*lined pond*), maupun kolam semi plastik (*semi lined pond*) mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam menopang tingkat kesuburan. Peran kualitas tanah terhadap produktivitas kolam secara keseluruhan sangat erat terutama berkaitan dengan kualitas air di atasnya. Meskipun manajemen kualitas air dianggap salah satu faktor budidaya paling penting, tetapi banyak bukti bahwa kondisi dasar tambak dan pertukaran substansi antara tanah dan air sangat berpengaruh terhadap kualitas air (Boyd *et al.*, 2002). Penelitian lebih mendalam perlu dilakukan sebagai bahan informasi untuk memperbaiki manajemen dasar kolam.

#### 3.2. Oxidized layer

Lapisan oksigen (*oxidized layer*) pada permukaan sedimen berperan penting dalam proses reaksi yang terjadi baik di sedimen maupun air di atasnya. Produk metabolisme dari dekomposisi aerobik antara lain karbon dioksida, air, amonia dan nutrien yang lain terakumulasi di dasar kolam. Pada sedimen anaerobik, beberapa mikroorganisme menguraikan bahan organik dengan reaksi fermentasi yang menghasilkan alkohol, keton, aldehida dan senyawa organik lainnya sebagai hasil metabolisme (Boyd *et al.*, 2002). Mikro organisme lainnya dapat menggunakan  $O_2$  dari nitrat, nitrit, besi dan mangan oksida, sulfat dan karbon dioksida untuk menguraikan material organik, tetapi mereka mengeluarkan gas nitrogen, amonia, ferrous, manganous manganese, hidrogen sulfida dan metan sebagai hasil metabolisme (Blackburn, 1987). Beberapa hasil metabolisme tersebut khususnya  $H_2S$ , nitrit, amonia,

dan senyawa organik tertentu dapat masuk ke air dan berpotensi racun bagi ikan atau udang. Lapisan oksigen pada permukaan sedimen mencegah sebagian besar metabolisme yang beracun ke dalam air tambak karena mereka dioksidasi menjadi bentuk yang tak beracun melalui aktifitas biologi ketika melewati lapisan aerobik. Nitrit akan dioksidasi menjadi nitrat, ferro dirubah menjadi ferri dan hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) dirubah menjadi sulfat (Boyd dan Queiroz, 2014). Gas methan dan nitrogen melewati lapisan dan terdifusi dari air tambak ke atmosfer. Kedua gas tersebut tidak menyebabkan keracunan bagi organisme aquatik di bawah kondisi normal (Boyd dan Thunjai, 2002). Karena itu sangat penting menjaga lapisan oksidasi pada permukaan sedimen/tanah tambak budidaya.

Tanah dasar kolam yang terakumulasi bahan organik dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan kondisi anaerob karena oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) habis digunakan sebelum masuk ke permukaan tanah. Bahkan dalam kolam tanpa konsentrasi bahan organik yang tinggi di sedimen, hasil input nutrien yang besar dan *blooming* fitoplankton yang diikuti dengan kematian fitoplankton secara masal (*die off*) dapat menyebabkan penurunan oksigen terutama di dasar kolam (Boyd dan Queiroz, 2014). Manajemen dasar kolam yang baik diperlukan untuk mencegah akumulasi material organik dalam jumlah besar di permukaan tanah kolam. Jika lapisan aerobik terjaga, hasil metabolisme (yang bersifat racun) yang terakumulasi di dasar kolam akan dioksidasi dengan cepat, sehingga tingkat keseimbangan metabolisme di air akan cukup tinggi untuk menetralkan efek yang merugikan bagi ikan/udang (Boyd *et al.*, 2002).

### **3.3. Pertukaran Nutrien**

Lingkungan kolam budidaya ikan baik air maupun tanah dasar mempunyai intraksi yang kuat dan saling mempengaruhi. Beberapa variabel kualitas tanah mempengaruhi kualitas air di atasnya serta terjadinya pertukaran senyawa seperti nutrien. Dua nutrien yang paling penting di dalam tambak adalah nitrogen dan fosfor, karena kedua nutrien tersebut sering hadir dalam jumlah terbatas dan membatasi pertumbuhan fitoplankton (Boyd, 2009). Kedua nutrien ini ditambahkan ke kolam dalam bentuk pupuk dan pakan. Pupuk nitrogen biasanya dalam bentuk urea dan

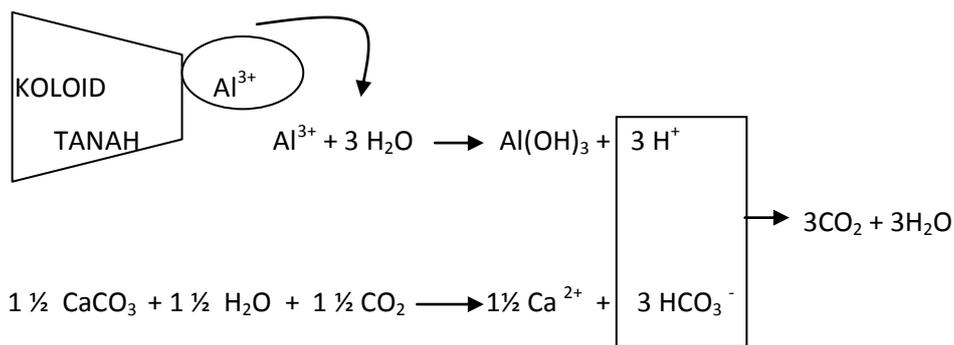
amonium. Urea secara cepat terhidrolisis menjadi amonium dalam air kolam (Boyd, 1990 ; Adhikari, 2003). Amonium akan diabsorpsi oleh phytoplankton, dirubah menjadi nitrogen organik dan akhirnya ditransformasi ke dalam nitrogen protein ikan melalui jaringan makanan. Amonium akan dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi dan nitrat akan digunakan oleh fitoplankton atau mengalami denitrifikasi oleh mikro organisme dalam sedimen. Denitrifikasi nitrat dalam sedimen menghasilkan gas nitrogen yang akan terdifusi dari sedimen ke air tambak kemudian ke atmosfer (Durborow *et al.*, 1997). Amonium berada dalam kesetimbangan dengan amonia dan amonia juga dapat terdifusi dari air tambak ke atmosfer. Sejumlah kecil amonium akan diabsorpsi oleh kation dalam tanah dasar tambak. Nitrogen organik dalam plankton dan kotoran hewan air akan berada di dasar dan menjadi nitrogen organik tanah. Nitrogen dalam material organik tanah akan dimineralisasi ke amonia dan kembali ke air kolam (Boyd *et al.*, 2002).

Fosfor merupakan nutrisi primer yang dibutuhkan oleh fitoplankton untuk pertumbuhan. Keberadaan fosfor dalam kolam mempengaruhi produktivitas alami. Fitoplankton memanfaatkan fosfor dalam bentuk *orthophosphate* terlarut dalam air. Fitoplankton dapat merubah dengan cepat fosfat dari air dan fosfat dalam fitoplankton akan masuk ke jaringan makanan pada ikan atau udang. Tanah kolam secara kuat akan menyerap fosfat dan kapasitas kolam untuk menyerap fosfat meningkat dengan naiknya kandungan liat (Boyd dan Munsiri, 1996). Masuda dan Boyd (1994) menemukan sekitar 2/3 fosfat yang diaplikasikan ke kolam dalam makanan terakumulasi di tanah dasar. Sebagian besar fosfat tanah terikat secara kuat dan hanya dalam jumlah kecil yang terlarut dalam air. Tanah kolam bukan merupakan sumber utama dalam air, karena fosfor yang terabsorpsi dari tanah tidak larut (Boyd dan Munsiri, 1996). Material organik dalam kolam secara cepat diabsorpsi oleh tanah dan sedikit yang masuk ke air. Tanah yang mempunyai pH hampir netral mempunyai kapasitas lebih kecil mengabsorpsi fosfor dan mempunyai kecenderungan lebih besar mengeluarkan fosfor dibanding tanah asam atau basa (Boyd,1995)

### 3.4. Kualitas Tanah

#### 3.4.1. pH Tanah Kolam

Variabel pH tanah merupakan faktor penting penentu kesuburan kolam karena mempengaruhi ketersediaan nutrisi dan mengontrol reaksi kimia di dasar kolam (Adhikari, 2003). Nilai pH tanah dasar mempunyai kisaran antara 4 sampai dengan lebih dari 9, tetapi pH yang paling baik sekitar 7 (netral) (Boyd, 1995). Sebagian besar mikroorganisme tanah, khususnya bakteri tanah berfungsi optimum pada pH 7 – 8. Sumber keasaman sebagian besar tanah kolam adalah ion aluminium (Boyd, 1990). Tanah liat dan partikel bahan organik di tanah, menarik kation ke permukaannya. Ion aluminium pada posisi pertukaran kation di tanah berada pada kesetimbangan dengan ion aluminium di air yang mengelilingi partikel tanah. Ion aluminium terhidrolisis menjadi aluminium hidroksida, mengeluarkan ion hidrogen. Semakin banyak proporsi ion aluminium pada kation tanah, semakin tinggi pula tingkat keasamannya. Kapur pertanian ( $\text{CaCO}_3$ ) yang diaplikasikan ke tanah tambak akan menetralkan tanah yang bersifat asam. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  akan menggantikan posisi ion Aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang berikatan dengan tanah sehingga akan mengurangi reaksi yang bersifat asam, seperti reaksi yang dijelaskan oleh Boyd *et al.* (2002) pada Gambar 17.

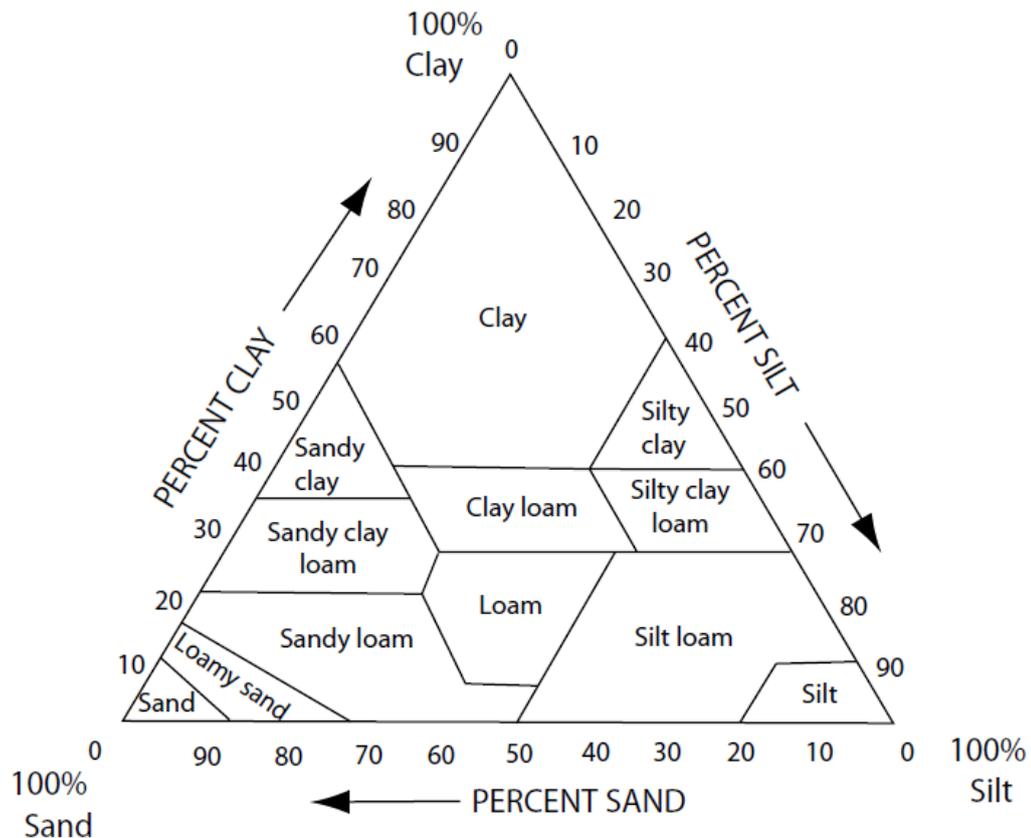


Gambar 17. Reaksi  $\text{CaCO}_3$  dalam menetralkan keasaman tanah (Boyd *et al.*, 2002)

#### 3.4.2. Tekstur Tanah

Tanah dasar kolam terdiri dari partikel organik dan anorganik dengan berbagai ukuran. Partikel-partikel tersebut terbagi dalam beberapa kelas/jenis berdasarkan ukurannya. Ukuran partikel berdasarkan sistem internasional adalah : gravel

berukuran >2,00 mm, sand (pasir) 0,02-0,2, silt 0,002-0,02mm dan clay (liat) <0,002mm (Boyd, 1990). Berdasarkan persentase kandungan masing-masing partikel, tekstur tanah dikelompokkan dalam beberapa jenis, misalnya ; *clay*, *clay loam*, *silt*, *silt loam* dan sebagainya seperti yang terdapat pada *soil triangle* (Gambar 18).



Gambar 18. Soil triangle

Tekstur tanah untuk budidaya ikan sebaiknya tidak porus dan mengandung liat yang cukup sehingga mempermudah membuat tanggul. Tanah yang mengandung liat yang cukup dapat membantu menahan air agar tidak meresap ke tanah (*seepage*). Namun kandungan liat yang tinggi akan menyulitkan pengeringan dan pembalikan (*tilling*). Menurut McCarty (1988), kandungan liat 5-10% sangat baik untuk konstruksi kolam, sementara Boyd *et al.* (2002) kandungan liat 20% diperlukan untuk pembuatan tanggul kolam. Kolam ikan yang menggunakan aerasi yang kuat dapat menyebabkan tingginya partikel tersuspensi dalam air jika tanah dasar kolam berupa lumpur.

### **3.4.3. Kapasitas Tukar Kation**

Kapasitas tukar kation (KTK) atau *cation exchange capacity* (CEC) merupakan kapasitas tanah untuk menyerap atau menukar kation yang dinyatakan dalam *miliequivalen/100 g tanah* (Boyd, 1990). Kemampuan tanah untuk menyerap atau menukar kation mempunyai arti penting di dalam serapan hara oleh tanaman, kesuburan tanah, retensi hara dan pemupukan. KTK tanah mempengaruhi kemampuan mengikat hara yang ditambahkan ke dalam tanah karena penambahan hara melalui pemupukan akan diikat oleh permukaan koloid tanah. Semakin tinggi nilai KTK semakin tinggi tingkat kesuburan tanah tersebut. Kapasitas pertukaran ion dipengaruhi oleh tekstur tanah. Semakin tinggi kandungan liat, semakin tinggi kapasitas pertukaran kation tanah. Nilai KTK untuk tanah pertanian berkisar antara 1 sampai 100 meq/100 g tanah kering (Boyd, 1990). Berdasarkan observasi Nilai KTK tambak udang yang ada di Kabupaten Tulang Bawang, Lampung pada saat persiapan berkisar antara 3,10 me/100g tanah kering sampai 14,70 me/100g tanah kering dengan rata-rata 11,20 me/100g tanah kering (Supono, 2008).

### **3.4.4. Kandungan Bahan Organik**

Tanah dasar tambak yang mengandung karbon organik 15-20% atau 30-40% bahan organik tidak baik untuk budidaya perairan. Kandungan bahan organik yang baik untuk budidaya udang sekitar 10% atau 20% kandungan karbon organik (Boyd, 2002). Kandungan bahan organik yang tinggi akan meningkatkan kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik tersebut menjadi molekul yang lebih sederhana sehingga akan terjadi persaingan penggunaan oksigen dengan biota yang ada dalam tambak.

Peningkatan kandungan bahan organik pada tanah dasar tambak akan terjadi dengan cepat terutama pada tambak yang menggunakan sistem budidaya secara semi intensif maupun intensif dengan tingkat pemberian pakan (*feeding rate*) dan pemupukan yang tinggi (Howerton, 2001). Disamping mengendap di dasar tambak, limbah organik juga tersuspensi dalam air sehingga menghambat penetrasi cahaya matahari ke dasar kolam.

Limbah tambak yang terdiri dari sisa pakan (*uneaten feed*), kotoran udang (*feces*), dan pemupukan terakumulasi di dasar tambak maupun tersuspensi dalam air (Primavera, 1991). Limbah ini terdegradasi melalui proses mikrobiologi dengan menghasilkan amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat (Zelaya *et al.*, 2001). Nutrien ini merangsang tumbuhnya algae/fitoplankton yang dapat menimbulkan *blooming*. Sementara itu beberapa hasil degradasi limbah organik bersifat toksik bagi ikan pada level tertentu. Terjadinya *die off* fitoplankton dapat juga menyebabkan meningkatnya akumulasi bahan organik di dasar kolam yang dapat mengakibatkan ikan stress bahkan kematian karena turunnya kadar oksigen terlarut. Limbah kolam ikan mengandung lebih banyak bahan organik, nitrogen, dan fosfor dibanding tanah biasa serta mempunyai nilai BOD dan COD yang lebih tinggi (Latt, 2002).

Limbah akuakultur yang banyak mengandung nitrogen akan terdegradasi dengan cepat, sedangkan bahan organik terdegradasi lebih lambat dan tidak dapat terdegradasi dengan sempurna (Boyd, 1990). Keterbatasan oksigen terlarut akan menghambat dekomposisi bahan organik oleh bakteri aerob. Rendahnya kandungan oksigen terlarut sering muncul di kolam ikan terutama yang dikelola secara intensif. Input pakan yang tinggi mendorong berkembangnya fitoplankton di kolom air yang dapat menghambat penetrasi sinar matahari ke dasar kolam. *Benthic algae* di dasar kolam tidak bisa melakukan fotosintesis karena tidak memperoleh sinar matahari. Kondisi ini diperparah dengan akumulasi limbah organik yang tinggi karena *over feeding* serta keterbatasan aerasi.

Meskipun material organik di dasar kolam dapat meningkatkan *oxygen demand*, ketersediaan bahan organik dalam jumlah yang cukup diperlukan untuk merangsang pertumbuhan mikroorganisme dan mencegah pH air naik. Kolam ikan yang kekurangan bahan organik, pH air akan cenderung naik karena kekurangan karbondioksida. Kondisi ini sering terjadi pada kolam-kolam yang baru dioperasikan (Boyd, 2002). Kandungan karbon organik antara 1,0-3,0% cocok untuk budidaya ikan (Tabel 7).

Tabel 7. Klasifikasi kandungan bahan organik tanah (Boyd *et al.*, 2002)

C Organik (%)	Keterangan
> 15	Tanah organik, tidak baik untuk budidaya
3,1-15	Tanah mineral dengan kandungan bahan organik tinggi
1,0-3,0	Tanah mineral, kandungan bahan organik cukup, cocok untuk budidaya
< 1,0	Tanah mineral dengan kandungan bahan organik yang rendah

### 3.5. Perlakuan Tanah Dasar Kolam

Perlakuan terhadap tanah dasar kolam dapat dilakukan dengan beberapa tindakan tergantung kondisi kolam dan fase budidaya. Perlakuan tanah dasar tambak pada fase persiapan sebelum pengisian air antara lain : pengeringan, pembuangan sedimen, pengapuran, desinfeksi tanah, dan pemupukan (Boyd dan Quieros, 2014). Pengeringan (*drying*) dasar kolam (antar siklus) bertujuan untuk menurunkan kandungan air tanah sehingga udara dapat masuk kedalam pori-pori tanah. Aerasi yang baik akan memperbaiki suplai O<sub>2</sub> dan meningkatkan dekomposisi aerobik bahan organik. Dengan pengeringan selama 2–3 minggu, sebagian besar bahan organik yang ada di tanah dasar dari siklus sebelumnya akan terurai dan senyawa anorganik akan dioksidasi (Boyd dan Dippopinyo, 1994, Boyd dan Quieros, 2014 ). Keuntungan utama dari perlakuan ini adalah untuk mengurangi *oxygen demand* dari tanah dasar tambak sebanyak mungkin sebelum memulai siklus baru dan membasmi hama dan penyakit. Waktu yang diperlukan untuk pengeringan tergantung pada tekstur tanah, temperatur udara, kondisi angin, curah hujan dan rembesan air dari kolam sekitarnya (Boyd *et al.*, 2002).

Pembuangan sedimen organik (*Organic sediment removal*) bertujuan untuk mengurangi bahan organik yang terakumulasi di dasar kolam. Jika material organik ini tidak dikeluarkan dari kolam, maka akan meningkatkan *oxygen demand* kolam pada siklus berikutnya. Pengeluaran bahan organik dapat dilakukan secara manual atau menggunakan alat berat, atau dilakukan penyiponan jika sudah ada air. Pengapuran bertujuan untuk menetralkan keasaman tanah dan meningkatkan konsentrasi total

*hardness* dan alkalinitas air. Panduan umum dosis pengapuran yang dapat diaplikasikan di kolam terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Dosis pengapuran berdasarkan alkalinitas dan pH tanah (Boyd *et al.*, 2002).

Alkalinitas Total ( mg/l )	pH Tanah	Kapur Pertanian CaCO <sub>3</sub> (Kg/Ha )
Dibawah 5	Dibawah 5	3.000
5 – 10	5.0 – 5.4	2.500
10 – 20	5.5 – 5.9	2.000
20 – 30	6.0 – 6.4	1.500
30 – 50	6.5 – 7.0	1.000

Baik total alkalinitas maupun pH tanah akan digunakan untuk mengestimasi dosis pengapuran kolam. Jika kedua data (Alkalinitas dan pH tanah) tersedia tetapi nilainya tidak sesuai dengan tabel, maka variabel yang digunakan adalah yang mempunyai dosis pengapuran paling besar. Kapur pertanian disebar secara merata di permukaan tanah kolam yang kosong atau ditebar merata di permukaan air. Kapur sebaiknya diaplikasikan pada permulaan siklus budidaya dan diaplikasikan minimal satu minggu sebelum pemupukan awal. Kapur pertanian tidak akan bereaksi dengan tanah kering, jadi jika diaplikasikan pada tanah kolam yang kosong, tanah harus dalam kondisi lembab (berair), tetapi tidak menyulitkan dalam penebarannya (Boyd *et al.*, 2002).

Desinfeksi tanah dasar kolam perlu dilakukan untuk membasmi patogen yang ada. Desinfeksi dapat dilakukan dengan pengapuran seluruh permukaan tanah dalam kondisi basah agar kapur dapat bereaksi. Pengapuran dengan menggunakan CaO (*quick lime*) dapat membasmi patogen yang ada di tanah melalui mekanisme peningkatan pH tanah secara drastis. Pemupukan dasar kolam perlu dilakukan untuk meningkatkan produktivitas alami (*benthic algae*)serta merangsang pertumbuhan bakteri (Boyd dan Quieros, 2014 ). Urea dapat ditebar diatas tanah kolam 200-400kg per hektar untuk mempercepat dekomposisi tanah organik, karena nitrogen dalam pupuk urea akan

digunakan oleh bakteri untuk mengoksidasi senyawa organik, terutama untuk tanah kolam yang tidak bisa kering. Pengapuran sebaiknya tidak dilakukan pada waktu aplikasi urea untuk mencegah pH tinggi. Urea akan dihidrolisis menjadi amoniak. Jika pH diatas 8, sebagian amonia akan terdifusi ke udara. Tanah dasar kolam sebaiknya dilakukan pembalikan (*tilling*) setelah pemupukan untuk menghindari penguapan amoniak ke udara. Pupuk organik dapat diaplikasikan untuk meningkatkan kandungan bahan organik (Adhikari, 2003). Pupuk kandang (kotoran ayam dan lainnya) dapat diaplikasikan dengan dosis 1.000-2.000 kg per hektar (Boyd *et al.*, 2002).

Perlakuan dasar kolam pada saat proses budidaya ikan/udang berlangsung dapat dilakukan dengan beberapa tindakan antara lain menjaga alkalinitas lebih dari 100 mg/l. Alkalinitas dapat ditingkatkan dengan aplikasi kapur pertanian atau sodium bikarbonat. Limbah yang terakumulasi di dasar kolam dapat diatasi dengan melakukan penyiponan dan pergantian air dasar kolam. Perlakuan beberapa bakteri pengurai seperti bakteri sulfur untuk menguraikan hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) dan bakteri nitrifikasi untuk menguraikan amonia ditambahkan secara rutin ke dalam kolam.

## IV. BENTHIC DIATOM

### 4.1. Benthic Algae

*Benthic algae* yang didominasi *benthic diatom* merupakan produsen primer dan penyusun utama rantai makanan ekosistem akuatik. Keberadaannya sangat penting sebagai sumber makanan bagi *meiofaunal* dan *microfaunal grazer* pada ekosistem dangkal (Gould dan Gallagher, 1990). Penelitian oleh Liboriussen dan Jeppensen (2003) pada beberapa danau menunjukkan bahwa produktivitas primer *benthic algae* pada danau yang keruh dan jernih mencapai 190 gr C/m<sup>2</sup>/tahun dan 141 gr C/m<sup>2</sup>/tahun. Berbeda dengan plankton (*free living algae*), *benthic algae* (*attached algae*) merupakan *micro algae* yang hidup menempel pada substrat. Berdasarkan substrat yang ditempel, *benthic algae* dibagi beberapa kelompok, antara lain : *epipellic algae* (menempel pada sedimen), *epiphytic algae* (menempel pada tanaman), dan *epilithic algae* (menempel pada batuan).

Keberadaan *epipellic algae* dipengaruhi oleh beberapa faktor yang ada dalam ekosistem perairan. Studi di lapangan yang dilakukan menunjukkan bahwa biomasanya dipengaruhi oleh nutrisi (C:N:P ratio), *grazing*, cahaya, dan temperatur (Kahlert, 2001). Menurut Lysakova *et al.* (2007), *epipellic algae* menyebar di sedimen yang masih terkena cahaya matahari. *Epipellic algae* juga sangat dipengaruhi oleh perubahan fisika dan kimia air yang berubah secara harian maupun musiman. Perubahan kualitas air ini akan mempengaruhi keberadaan *epipellic algae* baik biomasa maupun diversitasnya (Watanabe *et al.*, 2000).

### 4.2. Diatom

Diatom termasuk dalam alga kelas Bacillariophyceae dengan penyusun utama dinding sel dari silika. Disebut diatom karena selnya terdiri dari dua valva (dua atom), dimana yang satu menutupi yang lainnya seperti layaknya kaleng pastiles (Basmi, 1999). Diatom umumnya uniseluler (soliter), namun pada beberapa spesies ada yang hidup berkoloni dan saling bergandengan satu sama lainnya. Diatom dibagi menjadi dua ordo berdasarkan bentuknya, yaitu *Centrales* dan *Pennales*. Ordo

*Centrales* bila dilihat dari atas atau bawah berbentuk radial simetris dan lingkaran, sedangkan Ordo *Pennales* valvanya berbentuk memanjang. Karena dinding sel diatom terbentuk dari silikat, apabila mati dinding sel tersebut masih utuh dan mengendap di dasar perairan sebagai sedimen.

Diatom sangat berguna dalam studi lingkungan karena distribusi spesiesnya dipengaruhi oleh kualitas air (Taylor *et al.*, 2007), kandungan nutrisi serta keberadaannya sangat melimpah di sedimen perairan seperti di laut, estuari, kolam, maupun sungai, demikian juga dengan fosil diatom yang dapat digunakan sebagai indikator kesuburan suatu perairan. Penggunaan diatom sebagai indikator kualitas perairan lebih baik dibandingkan dengan indeks saprobitas karena lebih sensitif terutama yang berkaitan dengan parameter konduktivitas dan kandungan organik (Almeida, 2001).

Berdasarkan tempat hidupnya, diatom dibagi dua, yaitu *planktic diatom* dan *benthic diatom*. *Planktic diatom* hidup di kolom air dan sangat dipengaruhi oleh arus air, sedangkan *benthic diatom* hidup menempel pada substrat tertentu. Dinding sel *benthic diatom* lebih tebal (berat) dibanding *planktic diatom* (Basmi, 1999). Sebagian besar *planktic diatom* didominasi oleh ordo *Centrales*, sedangkan ordo *Pennales* mendominasi *benthic diatom*. Berdasarkan substrat yang ditempel, *benthic diatom* dibagi menjadi :

1. *Epiphytic*, yaitu *benthic diatom* yang hidup menempel pada tanaman lain
2. *Epipsammic*: yaitu *benthic diatom* yang hidup menempel pada pasir
3. *Epipellic*: yaitu *benthic diatom* yang hidup menempel pada sedimen
4. *Endopelic*: yaitu *benthic diatom* yang hidup menempel dalam sedimen
5. *Epilithic*: yaitu *benthic diatom* yang hidup menempel pada permukaan batu
6. *Epizoic*: yaitu *benthic diatom* yang hidup menempel pada hewan
7. *Fouling*: yaitu *benthic diatom* yang hidup menempel pada obyek yang ditempatkan dalam air.

#### **4.3. Diatom epipellic sebagai indikator kualitas air**

Indikator kualitas air yang biasa digunakan untuk menilai kelayakan untuk budidaya biasanya didasarkan pada faktor fisika dan kimia air pada kolom air. Faktor

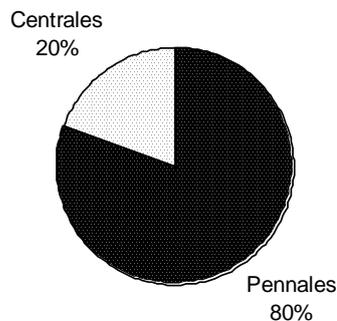
fisika air yang diamati antara lain suhu, kecerahan, dan partikel tersuspensi, sedangkan faktor kimia antara lain *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), *dissolved oxygen* (DO), alkalinitas, bahan organik, amonia, fosfat, dan lain-lainnya (Boyd, 1990).

Indikator kualitas air yang mulai banyak dikembangkan sekarang ini adalah indikator secara biologi, yaitu pengamatan terhadap organisme yang hidup dalam suatu perairan. Indikator ini sangat penting karena parameter fisika dan kimia air mempengaruhi keberadaan organisme yang hidup di perairan tersebut. Indikator biologi yang sekarang digunakan antara lain organisme *macrobenthic* dan plankton. Namun demikian, penggunaan biota tersebut sebagai indikator kualitas air mempunyai beberapa kelemahan. Organisme *macrobenthic* hanya hidup pada substrat tertentu sedangkan plankton hanya hidup di kolom air. Indeks keragaman *macrobenthic* dan plankton hanya mencerminkan perubahan struktur komunitas pada saat mengalami gangguan (*stress period*) dan tidak dapat membedakan antara ekosistem yang terganggu dengan ekosistem yang sehat (Hendrarto 1994).

Penggunaan diatom yang hidup di dasar perairan atau sedimen (*diatom epipellic*) diduga sangat tepat karena dapat mengatasi kelemahan-kelemahan yang ada pada organisme *macrobenthic* dan plankton. *Benthic diatom* yang hidup menempel pada sedimen, mempunyai beberapa kelebihan antara lain : jenis alga yang kelimpahannya paling banyak dan tersebar luas, berperan penting dalam rantai makanan, siklus hidup sederhana, beberapa spesies sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat menggambarkan perubahan lingkungan dalam periode yang pendek dan jangka panjang, serta mudah pengambilan sampel dan identifikasinya (Round, 1993; Stevenson, 2002). Struktur komunitas dan kelimpahan *benthic diatom* sangat penting dalam menentukan status ekologis perairan (Picinska, 2007). Kelebihan lain penggunaan organisme yang menempel (*attaching organism*) dibandingkan dengan plankton (*planktonic community*) adalah distribusinya tidak mudah terpengaruh oleh arus (Almeida, 2001).

#### 4.4. Diatom Epipellic dalam Kolam

Diatom epipellic mendominasi *benthic microalgae* yang ada di kolam ikan (Lysakova *et al.*, 2007). Keberadaan *benthic microalgae* dapat dideteksi dari kandungan klorofil *a* pada sedimen. Berdasarkan penelitian, klorofil *a* sedimen yang terdapat pada kolam intensif bervariasi antara 6,29  $\mu\text{g/g}$  – 71,99  $\mu\text{g/g}$  dengan rata-rata 21,5  $\mu\text{g/g}$  sementara ordo *Pennales* mendominasi kelimpahan diatom epipellic di tambak udang (Gambar 19).

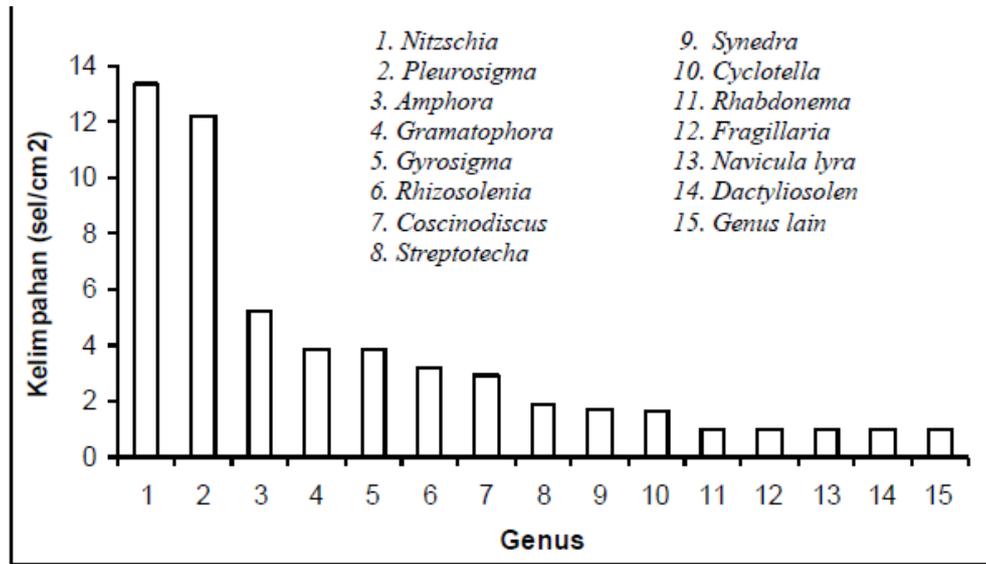


Gamba 19. Komposisi Ordo Diatom Epipellic

Genus diatom epipellic mendominasi di tambak udang adalah *Nitzschia* dan *Pleurosigma*. Selain itu beberapa genus diatom epipellic yang ditemukan ditambak udang antara lain : *Amphora*, *Gramatophora*, *Synedra*, *Cyclotella*, *Rhabdonema*, *Fragillaria*, dan *Navicula* (Gambar 20).

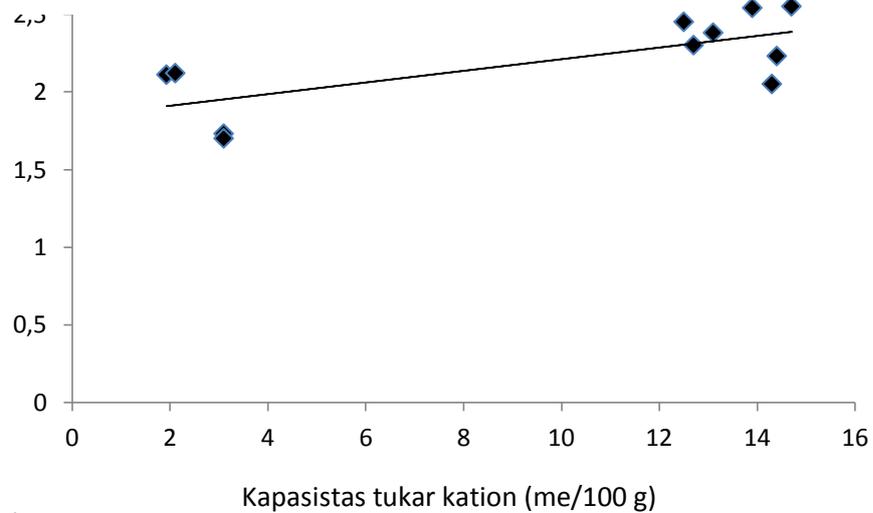
Keberadaan diatom epipellic di dasar tambak dipengaruhi oleh kualitas sedimen. Kualitas sedimen yang berhubungan erat dengan keragaman diatom epipellic antara lain kapasitas tukar kation (KTP) tanah (Gambar 21) dan kandungan liat pada sedimen (Gambar 22). Kemampuan tanah untuk menyerap atau menukar kation mempunyai arti penting di dalam serapan hara oleh tanaman, kesuburan tanah, retensi hara dan pemupukan. Nilai KTK dipengaruhi oleh kandungan liat pada tanah. Semakin tinggi kandungan liat semakin tinggi pula nilai KTK. Kapasitas pertukaran kation mempengaruhi kemampuan mengikat hara yang ditambahkan ke dalam tanah karena

penambahan hara melalui pemupukan akan diikat oleh permukaan koloid tanah (Boyd, 1990).

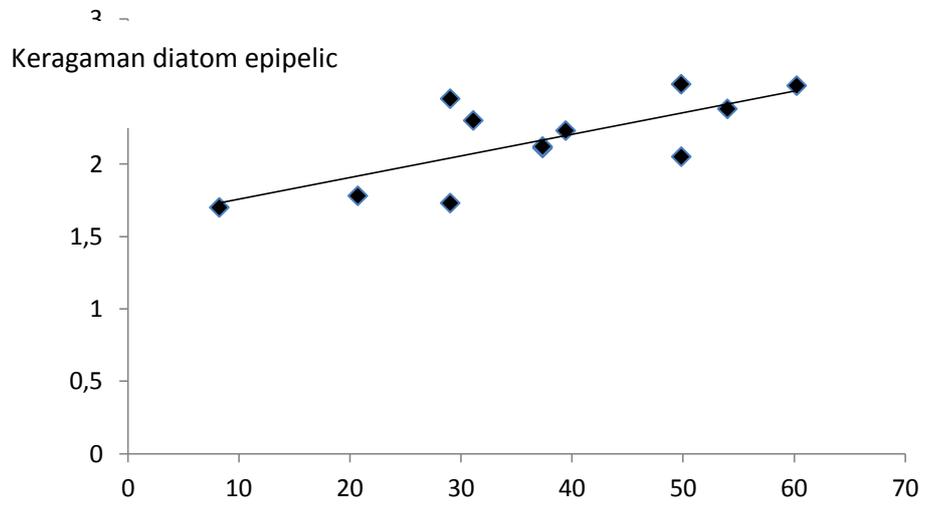


Gambar 20. Kelimpahan Genus Diatom Epipellic di tambak udang

Keragaman diatom epipellic



Gambar 21. Pengaruh KPK sedimen terhadap keragaman diatom epipellic



Gambar 22. Pengaruh kandungan liat sedimen terhadap keragaman diatom epipellic

## V. SENYAWA BERACUN (TOXICANT)

### 5.1. Amonia

Amonia merupakan limbah terbesar dari proses pencernaan ikan karena kandungan protein yang tinggi. Sumber utama amoniak pada kolam budidaya ikan adalah ekskresi dari ikan dan udang melalui insang dan feses (Chin dan Chen, 1987 ; Durborow *et al.*, 1997; Hagreaves dan Tucker, 2004). Amonia dapat juga masuk dalam kolam ikan dari sisa pakan (*uneaten feed*) dan ikan atau alga yang mati melalui proses mineralisasi bakteri proteolitik. Amonia yang keluar dari ikan dapat diestimasi dari net protein utilization dan persentase protein dalam pakan, dengan persamaan (Boyd, 1990) :

$$\text{Amonia-nitrogen (g/kg pakan)} = (1,0 - \text{NPU}) (\text{protein} \div 6,25) \times 1.000$$

NPV = net protein utilization

Protein = kandungan protein dalam pakan

6,25 = rasio protein dari nitrogen

NPV untuk pakan yang berkualitas baik sekitar 0,4. Sebagai contoh : pakan dengan kandungan protein 30%, maka amonia nitrogen yang dihasilkan adalah :

$$\text{Amonia-nitrogen} = (1,0 - 0,4) (0,30 \div 6,25) \times 1.000 = 28,8 \text{ g N/kg pakan.}$$

Pendugaan amonia-nitrogen yang dihasilkan pada sistem akuakultur juga dilakukan oleh Timmons *et al.* (2002) dengan menggunakan persamaan :

$$P_{\text{TAN}} = F \times \text{PC} \times 0,092$$

Sementara Ebeling *et al.* (2006), menduga amonia-nitrogen yang dihasilkan oleh udang dengan menggunakan sistem heterotrof dan *zero water exchange* dengan menggunakan persamaan :

$$P_{\text{TAN}} = F \times \text{PC} \times 0,144$$

$P_{\text{TAN}}$  merupakan produksi amonia nitrogen (kg), F adalah tingkat pemberian pakan (kg/hari), dan PC adalah kandungan protein dalam pakan.

Amonia dalam perairan terdapat dalam dua bentuk yaitu amonia bebas (*ionized ammonia* /  $\text{NH}_3$ ) dan amonia ion (*ionized ammonia* /  $\text{NH}_4^+$ ). Amonia bebas pada konsentrasi tinggi beracun bagi ikan dan udang sedangkan amonia ion tidak beracun. Kedua bentuk amonia tersebut dipengaruhi oleh pH dan suhu perairan

(Colt, 1984) seperti yang terdapat pada Tabel 9. Semakin tinggi pH dan suhu perairan semakin tinggi pula kandungan amonia tidak terionisasi (bebas) sehingga semakin meningkat daya racun amonia, sesuai dengan reaksi :



Ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) relatif tidak beracun dan mendominasi perairan ketika pH rendah. Secara umum kurang dari 10% amonia dalam bentuk toksik pada pH kurang dari 8,0, namun akan naik secara drastis jika pH naik (Hagreaves dan Tucker, 2004).

Kadar amonia bebas yang tinggi di kolam dapat menyebabkan beberapa efek negatif bagi ikan, antara lain :

- Ekskresi amonia oleh ikan menurun sehingga kadar amonia dalam darah akan naik (Durborow *et al.*, 1997)
- Kerusakan insang (Durborow *et al.*, 1997)
- Menurunnya kemampuan darah dalam transportasi oksigen (Boyd, 1990)
- Ikan mudah terserang penyakit (Hagreaves dan Tucker, 2004)
- Menghambat pertumbuhan (Hagreaves dan Tucker, 2004)

Tabel 9. Persentase Amoniak tidak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ) pada pH dan suhu yang berbeda (Colt, 1984)

pH	Suhu (°C)			
	26	28	30	32
7.0	0.60	0.70	0.81	0.95
7.2	0.95	1.10	1.27	1.50
7.4	1.50	1.73	2.00	2.36
7.6	2.35	2.72	3.13	3.69
7.8	3.68	4.24	4.88	5.72
8.0	5.71	6.55	7.52	8.77
8.2	8.75	10.00	11.41	13.22
8.4	13.20	14.98	16.96	19.46
8.6	19.42	21.83	24.45	27.68
8.8	27.64	30.68	33.90	37.76
9.0	37.71	41.23	44.84	49.02
9.2	48.96	52.65	56.30	60.38
9.4	60.33	63.79	67.12	70.72
9.6	70.67	73.63	76.36	79.29
9.8	79.25	81.57	83.68	85.85
10.0	85.82	87.52	89.05	90.58

Level aman amoniak bagi ikan adalah 0,1 mg/l (Chin dan Chen, 1987). Sedangkan menurut Durborow et al. (1997), kadar amonia tidak terionisasi lebih dari 0,6 mg/l dapat membunuh ikan. Toksisitas amoniak akan menurun jika kadar CO<sub>2</sub> dalam air meningkat, karena peningkatan CO<sub>2</sub> akan menurunkan pH air sehingga menurunkan kadar amoniak (NH<sub>3</sub>).

Beberapa metode telah dikembangkan dalam mengendalikan nitrogen anorganik dalam tambak udang antara lain dengan penyerapan amoniak dan nitrat oleh fitoplankton (*photoautotrophic*), pergantian air (*flowthrough*), sistem resirkulasi (*aquaculture recirculating system/RAS*), bioremediasi atau probiotik (*autotrophic bacteria-nitrification*) (Crab et al., 2007), dan penggunaan bakteri heterotrof (Avnimelech, 2009).

Kolam ikan/udang yang dikelola secara tradisional menggunakan fitoplankton untuk mengikat amonia. Nitrogen anorganik dalam bentuk amonia terionisasi (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) diperlukan oleh fitoplankton untuk membentuk protein dan pembentukan sel. Kemampuan fitoplankton dalam menyerap amonia mempunyai keterbatasan karena produktivitas kolam rata-rata hanya 4 gC/m<sup>2</sup>/hari (Avnimelech, 2009). Hal ini tidak dapat mengimbangi amonia yang dihasilkan dalam sistem budidaya yang dikelola secara intensif. Eutrofikasi dalam kolam budidaya akan memicu pertumbuhan fitoplankton yang tidak terkendali (*blooming*) yang berakibat pada penurunan kualitas air terutama peningkatan pH pada siang hari dan penurunan oksigen terlarut secara drastis pada malam hari (Boyd, 1990).

Pergantian air secara rutin mampu mengurangi kadar amonia dalam tambak dan meningkatkan kualitas air secara keseluruhan, tetapi sering menimbulkan permasalahan terhadap ikan. Pergantian air dalam jumlah besar dan frekuensi yang tinggi menyebabkan ikan mudah mengalami stres, masuknya sumber penyakit dari luar sistem, hilangnya nutrisi, serta pencemaran lingkungan sekitarnya. Sedangkan pada sistem resirkulasi (*recirculating aquaculture system*), amoniak dapat dikendalikan sesuai standar budidaya, input patogen dapat ditekan, kualitas air terjaga, serta sistem budidaya lebih terkontrol tetapi mempunyai beberapa kelemahan, antara lain

keterbatasan dalam mengolah limbah organik yang dihasilkan dan biaya operasional relatif tinggi (Riche dan Garling, 2003).

Bioremediasi dengan menggunakan beberapa jenis bakteri autotrofik (probiotik) bertujuan untuk meningkatkan laju nitrifikasi dari amonia menjadi nitrat. Proses ini terjadi dalam dua tahap, yaitu pembentukan nitrit dari amoniak dan perubahan nitrit menjadi nitrat. Aplikasi bakteri probiotik bermanfaat dalam menurunkan amonia, tetapi mempunyai beberapa keterbatasan antara lain bakteri probiotik tidak tumbuh optimal karena media yang tidak sesuai dengan kebutuhan bakteri dan keterbatasan kecepatan nitrifikasi dibandingkan dengan tingginya input amoniak dalam tambak (Ebeling *et al.*, 2006).

Pemanfaatan bakteri heterotrof dalam manajemen kualitas air mulai dikembangkan untuk mengatasi permasalahan budidaya ikan terutama meningkatnya kandungan amoniak. Pada kondisi rasio C:N di lingkungan tinggi, bakteri heterotrof akan tumbuh dengan pesat dan akan mengasimilasi amoniak (nitrogen anorganik) menjadi nitrogen organik (protein) dalam bentuk biomasa bakteri yang tidak bersifat toksik. Penambahan karbon dalam media budidaya merupakan cara yang paling efektif menurunkan nitrogen anorganik (Avnimelech, 2009). Pembahasan lebih lanjut mengenai sistem heterotrof akan dibahas pada bab akhir buku ini.

## **5.2. Karbondioksida**

Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) merupakan hasil respirasi organisme perairan, baik ikan, bakteri, maupun plankton. Pada waktu siang hari fitoplankton melakukan fotosintesis, tetapi pada malam hari melakukan respirasi. Konsentrasi karbondioksida yang tinggi dalam darah akan keluar ke perairan lewat insang melalui proses difusi. Kadar karbondioksida yang tinggi di perairan dapat menyebabkan tingginya karbondioksida dalam darah sehingga dapat menurunkan pH darah dan menurunkan kapasitas hemoglobin darah dalam mengangkut  $\text{O}_2$ . Ikan dapat menoleransi kadar karbondioksida sampai 10 mg/l (Boyd, 1990).

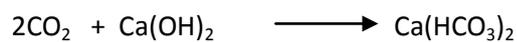
Pada konsentrasi oksigen terlarut 2 mg/l, ikan akan mati perlahan-lahan jika  $\text{CO}_2$  tinggi dan tidak berpengaruh jika konsentrasi  $\text{CO}_2$  rendah. *Cat fish* dapat menoleransi

20-30 mg/l CO<sub>2</sub> jika akumulasinya perlahan-perlahan dan konsumsi oksigen terlarut diatas 5 mg/l. Pada kolam alami, CO<sub>2</sub> jarang melampui 5-10 mg/l. Konsentrasi CO<sub>2</sub> tinggi hampir selalu diiringi dengan konsentrasi oksigen terlarut rendah (respirasi tinggi). Aerasi digunakan untuk menaikkan konsentrasi oksigen terlarut yang rendah, membantu mengurangi CO<sub>2</sub> yang berlebih dengan memperbaiki difusi kembali ke atmosfer. Perlakuan ini tidak disarankan dilakukan pada air dengan kapasitas *buffer* rendah (*low alkalinity*) karena pH akan naik ke level yang berbahaya (Boyd, 1990).

Kadar CO<sub>2</sub> di perairan yang tinggi dapat terjadi pada saat plankton mati massal (*die off*), dimana aktivitas bakteri dalam menguraikan bahan organik (plankton yang mati) berlangsung cepat sementara kandungan O<sub>2</sub> terlarut dalam air sangat rendah. Jika CO<sub>2</sub> melebihi 10 mg/l, perlu dilakukan tindakan untuk menurunkannya. Bahan kimia yang dapat digunakan untuk menurunkan CO<sub>2</sub> adalah Ca(OH)<sub>2</sub>, sesuai dengan reaksi (Boyd, 1990) :



Dari kedua reaksi tersebut dapat diringkas :



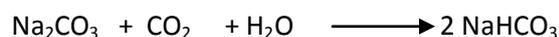
Dari reaksi tersebut kebutuhan Ca(OH)<sub>2</sub> untuk menetralkan 1 mg/l CO<sub>2</sub> dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{array}{rcl} 74,08 \text{ mg} & & 88\text{mg} \\ \text{Ca(OH)}_2 & = & 2 \text{ CO}_2 \\ x & & 1 \text{ mg/l} \end{array}$$

$$x = 74/88 = 0,84 \text{ mg/l Ca(OH)}_2$$

Jadi kebutuhan Ca(OH)<sub>2</sub> untuk menetralkan 1 mg/l CO<sub>2</sub> adalah 0,84 mg/l

Sodium karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) juga dapat digunakan untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> dalam air, sesuai dengan reaksi berikut ini :



$$\begin{array}{rcl} 105,98 \text{ mg} & & 44 \text{ mg} \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 & = & \text{CO}_2 \\ x & & 1 \text{ mg/l} \end{array}$$

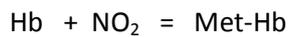
$$x = 105,98/44 = 2,41 \text{ mg/l Na}_2\text{CO}_3$$

Jadi kebutuhan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  untuk menetralkan 1 mg/l  $\text{CO}_2$  adalah 2,41 mg/l

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  cepat bereaksi dalam air dan menetralkan  $\text{CO}_2$ .  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  lebih aman daripada  $\text{Ca(OH)}_2$  karena tidak menurunkan pH, tetapi  $\text{Ca(OH)}_2$  lebih banyak digunakan karena harganya lebih murah dan mudah didapatkan (Boyd, 1990).

### 5.3. Nitrit

Nitrit diabsorpsi oleh ikan melalui insang dan bereaksi dengan hemoglobin membentuk *methemoglobin* :



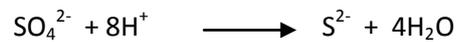
Nitrit beracun karena *methemoglobin* tidak dapat menyatu dengan oksigen sehingga menghambat kerja dari hemoglobin darah. Darah yang banyak mengandung *methemoglobin* akan berwarna coklat menyebabkan penyakit "*brown blood disease*". Hal yang sama berlaku pada Crustacea yang mengandung *haemocyanin*. Warna coklat muda terjadi jika konsentrasi *methemoglobin* 20-30% dari total hemoglobin, jika melebihi 50% akan berwarna coklat (Schwedler dan Tucker, 1983).

Nitrit dalam kolam ikan berasal dari ekskresi ikan berupa amonia yang dirubah menjadi nitrit oleh bakteri atau sisa pakan dan feses yang mengalami mineralisasi membentuk amonia yang dirubah menjadi nitrit. Dalam kondisi normal, nitrit akan dirubah oleh bakteri menjadi nitrat, namun jika terjadi keterbatasan oksigen terlarut, reaksi akan terhenti sampai nitrit (Durborow *et al.*, 1997). Cara mudah untuk mengatasi toksisitas nitrit pada ikan adalah dengan menambahkan sodium klorida ( $\text{NaCl}$ ) dan kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) untuk menambah rasio molaritas nitrit dan klorida (Boyd, 1990). Menurut Durborow *et al.* (1997), rasio klor dan nitrit sebesar 10:1 dapat mencegah pengaruh negatif dari nitrit. Menjaga konsentrasi klor 100 mg/l dalam air kolam direkomendasikan untuk mengantisipasi peningkatan kandungan nitrit.

### 5.4. Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )

Hidrogen sulfida muncul di dasar kolam yang miskin oksigen (anaerobik). Hidrogen sulfida lebih banyak terjadi di kolam air payau dibandingkan kolam air tawar

karena kelimpahan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) lebih banyak di air payau. Sulfur (S) dalam kolam bersifat toksik apabila terbentuk  $\text{H}_2\text{S}$  (tidak terionisasi), tetapi tidak berbahaya jika dalam bentuk ion (sulfat/ $\text{SO}_4^{2-}$ ). Pada kondisi anaerobik, bakteri heterotropik tertentu dapat menggunakan sulfat sebagai aseptor elektron dalam metabolismenya dan menghasilkan sulfida, seperti yang terjadi pada reaksi di bawah ini :



Sulfida yang dihasilkan merupakan senyawa yang terionisasi dalam bentuk Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan berada dalam kesetimbangan dengan  $\text{HS}^-$  dan  $\text{S}^{2-}$  (Boyd, 1990) seperti pada reaksi di bawah ini :



Reaksi kesetimbangan tersebut dipengaruhi oleh pH perairan. Jika pH perairan naik maka konsentrasi  $\text{S}^{2-}$  akan naik, sedangkan jika pH turun maka konsentrasi  $\text{H}_2\text{S}$  akan naik.

Konsentrasi  $\text{H}_2\text{S}$  yang tinggi dapat diatasi dengan aerasi dan sirkulasi untuk menghindari daerah yang stagnan dan anaerobik di dasar kolam. Pengapuran dapat diaplikasikan untuk meningkatkan pH dan mengubah  $\text{H}_2\text{S}$  menjadi bentuk yang tidak beracun, karena penurunan pH dapat meningkatkan daya racun sulfur (Boyd, 1990). Shigeno (1978) dan Chamberlain (1988) menggunakan ferrous oksida ( $\text{FeO}$ ) untuk menetralkan  $\text{H}_2\text{S}$ , karena dapat bereaksi dengan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) membentuk endapan ferrous sulfida ( $\text{FeS}$ ) yang tidak beracun. .

## VI. DINAMIKA EKOSISTEM KOLAM

### 6.1. Keterkaitan Alkalinitas, Karbondioksida, dan pH

Kualitas air di kolam, baik fisika, kimia, maupun biologi air saling berkaitan satu dengan yang lainnya (Boyd, 1990). Sebagian besar variabel kualitas air berubah-ubah setiap hari bahkan saling berkaitan satu sama lainnya. Variabel kimia air yang mempunyai hubungan sangat erat adalah karbondioksida, pH, dan alkalinitas. Variabel kualitas air tersebut berhubungan dan dapat berpengaruh pada produktivitas kolam, tingkat *stress* dan kesehatan udang, ketersediaan oksigen dan daya racun amonia (Wurts dan Durborow, 1992).

#### 6.1.1. Karbondioksida dan pH

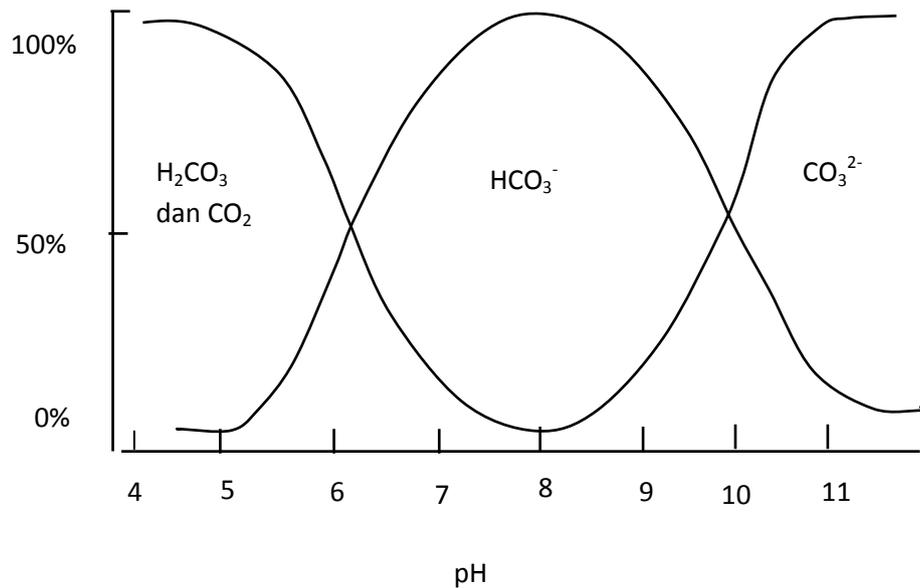
Karbondioksida dalam perairan berkaitan erat dengan pH. Karbondioksida di kolam yang sebagian besar berasal dari hasil respirasi organisme akan bereaksi dengan air membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Kurang dari 1 persen karbondioksida berada dalam bentuk asam karbonat (Boyd, 1990). Asam karbonat akan segera terdisosiasi menjadi ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dengan melepaskan ion hirogen ( $\text{H}^+$ ) yang menyebabkan penurunan pH air. Kelebihan karbondioksida akan tersimpan dalam bentuk ion alkalinitas atau bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) yang berfungsi sebagai penyangga. Bikarbonat tersebut akan digunakan kembali oleh fitoplankton jika di perairan terjadi kekurangan karbondioksida. Mekanisme ini dapat mempertahankan pH perairan sehingga tidak terjadi fluktuasi pH yang tinggi. Tabel 10 menjelaskan perubahan harian  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , dan pH dalam kolam ikan.

Tabel 10. Perubahan oksigen terlarut,  $\text{CO}_2$  dan pH berdasarkan waktu

Waktu	$\text{O}_2$	$\text{CO}_2$	pH
Siang	naik	turun	naik
Pagi	turun	naik	turun

Keberadaan bentuk karbondioksida dalam perairan dipengaruhi oleh pH. Menurut Boyd (1990), pada pH 4,3, karbondioksida berada dalam bentuk

karbondioksida bebas dan asam karbonat, sementara bikarbonat tidak ditemukan. Jika pH mengalami kenaikan, karbondioksida bebas dan asam karbonat berkurang sampai puncaknya pada pH 8,3 dimana semua karbondioksida berada dalam bentuk bikarbonat (Gambar 23).



Gambar 23. Pengaruh pH terhadap proporsi H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.

### 6.1.2. Alkalinitas dan karbondioksida

Pada air yang mempunyai alkalinitas tinggi (kemampuan penyangga bagus) dan tingkat *hardness* yang sama akan menyebabkan pH akan menjadi netral atau sedikit basa (7,0 – 8,3) dan tidak banyak berfluktuasi (Wurts dan Durborow, 1992). Alkalinitas tinggi pada kolam terutama yang tersusun dari bikarbonat dapat mencegah kenaikan pH yang tinggi pada siang hari dimana fotosintesis berlangsung dalam frekuensi tinggi (Wurts dan Masser, 2013). Karbondioksida dalam air akan terus berkurang bahkan habis mengakibatkan pH naik tanpa bisa dikontrol. Pada kondisi seperti ini cadangan ion bikarbonat akan berubah menjadi karbondioksida yang dapat mengontrol pH air.

Jumlah karbondioksida yang lebih tinggi dibutuhkan untuk menurunkan pH karena adanya basa yang tersedia lebih banyak untuk menetralkan atau menyangga asam. Hubungan antara alkalinitas, pH dan CO<sub>2</sub> dapat ditentukan pada Tabel 10. Angka

yang ditemukan dalam Tabel 11 yang diperoleh dari pengukuran pH dan suhu air, dikalikan dengan nilai alkalinitas yang diukur (mg/l CaCO<sub>3</sub>). Nilai dari perhitungan ini mengestimasi konsentrasi CO<sub>2</sub> (mg/l) (Wurts dan Durborow, 1992).

**Sebagai contoh :**

pH = 8,0 dan suhu = 30° C serta total alkalinitas 100 mg/l, *factor corresponding* = 0,019 dari Table 8. Kemudian mengalikan *factor corresponding* ini dengan alkalinitas (100mg/l). Hasil perhitungannya memberikan angka estimasi konsentrasi CO<sub>2</sub> di kolam sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi CO}_2 = 0,019 \times 100 \text{ mg/L} = 1,9 \text{ mg/l CO}_2$$

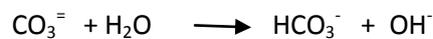
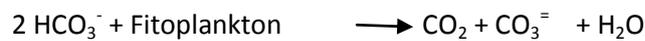
Pengukuran pH secara langsung dalam 30 menit terhadap sampel air dibutuhkan untuk meminimalkan kesalahan ketika menggunakan metode ini. Karena beberapa sumber kesalahan dapat terjadi pada metode ini.

Tabel 11. *Factor corresponding* untuk menghitung konsentrasi CO<sub>2</sub> berdasarkan pH, temperatur, dan alkalinitas (Tucker, 1984)

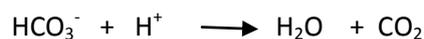
pH	Temperatur (°C)						
	5	10	15	20	25	30	35
6,0	2,915	2,539	2,315	2,112	1,970	1,882	1,839
6,2	1,839	1,602	1,460	1,333	1,244	1,187	1,160
6,4	1,160	1,010	0,921	0,841	0,784	0,749	0,732
6,6	0,732	0,637	0,582	0,531	0,495	0,473	0,462
6,8	0,462	0,402	0,367	0,335	0,313	0,298	0,291
7,0	0,291	0,254	0,232	0,211	0,197	0,188	0,184
7,2	0,184	0,160	0,146	0,133	0,124	0,119	0,116
7,4	0,116	0,101	0,092	0,084	0,078	0,075	0,073
7,6	0,073	0,064	0,058	0,053	0,050	0,047	0,046
7,8	0,046	0,040	0,037	0,034	0,031	0,030	0,030
8,0	0,029	0,025	0,023	0,021	0,020	0,019	0,018
8,2	0,018	0,016	0,015	0,013	0,012	0,012	0,011
8,4	0,012	0,010	0,009	0,008	0,008	0,008	0,007

Alkalinitas dapat mempengaruhi flutuasi pH perairan. Flukuasi pH perairan lebih kecil pada perairan yang mengandung alkalinitas tinggi dibandingkan dengan

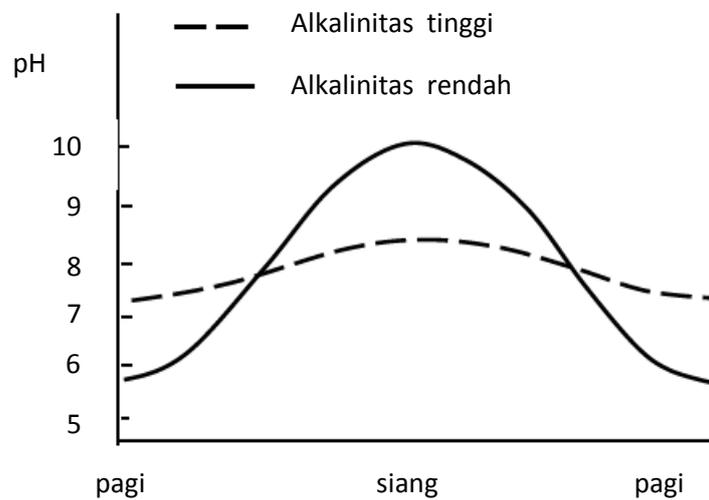
alkalinitas rendah (Gambar 24). Basa yang berasosiasi dengan alkalinitas bereaksi dan menetralkan asam. Karbonat dan bikarbonat dapat bereaksi dengan asam dan basa dan menyangga perubahan pH (Boyd, 1990). Pada air dengan alkalinitas rendah, pH dapat mencapai konsentrasi rendah yang berbahaya ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dari respirasi) atau pH tinggi (Fotosintesis yang tinggi). Alkalinitas dapat meningkatkan produktivitas fitoplankton dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi (konsentrasi fosfat yang larut). Alkalinitas 20 mg/l atau lebih akan menangkap  $\text{CO}_2$  dan meningkatkan konsentrasi yang tersedia untuk fotosintesis (Wurts dan Masser, 2013). Karena fitoplankton menggunakan  $\text{CO}_2$  dalam fotosintesis, pH air kolam akan naik karena asam karbonat digunakan. Fitoplankton dan tanaman lainnya dapat mengkombinasikan  $\text{HCO}_3^-$  sebagai sumber  $\text{CO}_2$  untuk fotosintesis dengan melepaskan karbonat (Wurts dan Durborow, 1992), seperti reaksi dibawah ini :



Reaksi ini menyebabkan pH perairan tinggi karena mengikat ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) :



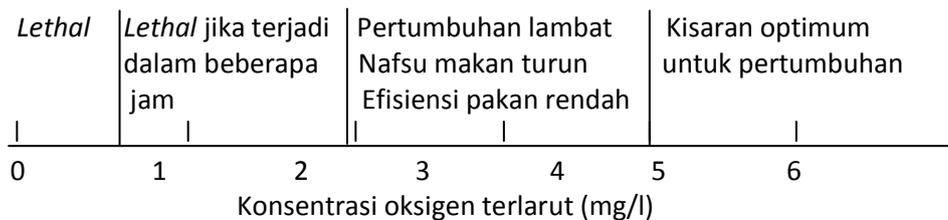
Pelepasan karbonat yang dirubah dari bikarbonat oleh plankton dapat menaikkan pH secara drastis ( diatas 9) selama periode fotosintesis yang cepat oleh fitoplankton yang *blooming*. Kenaikkan pH ini dapat terjadi pada air dengan alkalinitas rendah (20-50 mg/l) atau air dengan alkalinitas tinggi (75-200 mg/l) yang mempunyai *hardness* lebih kecil dari 25 mg/l. Alkalinitas bikarbonat yang tinggi di air dihasilkan oleh sodium dan potassium karbonat yang lebih larut dari pada kalsium dan magnesium karbonat yang menyebabkan *hardness*. Jika kalsium, magnesium dan karbonat ada ketika pH lebih besar dari 8,3, maka akan terbentuk kapur (Wurts dan Masser, 2013).



Gambar 24. Fluktuasi pH Kolam ikan dengan alkalinitas yang berbeda

**6.2. Lodos ( Low Dissolved Oxygen Syndrome )**

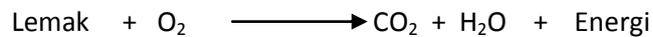
Konsentrasi oksigen terlarut yang kritis (< 3ppm) di kolam biasanya berkaitan dengan kondisi buruk variabel kualitas lainnya seperti kepadatan plankton, konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi, dan akumulasi bahan organik. Kondisi seperti ini disebut dengan *low dissolved oxygen syndrome* (Lodos) atau gejala kadar oksigen terlarut yang rendah. Kualitas air seperti ini merupakan faktor yang sangat penting dalam pemeliharaan ikan atau udang di kolam yang paling sulit diramalkan dan dikelola. Sebagian besar kematian ikan atau udang, terjangkitnya penyakit, pertumbuhan yang buruk, efisiensi pakan yang rendah, turunnya nafsu makan, dan masalah-masalah yang lainnya secara langsung maupun tidak langsung terkait dengan kondisi ini. Berikut ini adalah kisaran konsentrasi O<sub>2</sub> dan pengaruhnya terhadap udang (Gambar 25):



Gambar 25. Efek konsentrasi oksigen terlarut terhadap udang

### 6.2.1. Oksigen dan metabolisme

Nutrien penghasil energi, terdiri dari unit-unit kimiawi yang kompleks seperti karbohidrat, lemak dan protein. Hasil sisa makanan merupakan zat-zat sederhana seperti karbondioksida dan air, yang secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut (Affandi dan Tang, 2002) :



Jumlah dari perubahan-perubahan yang dialami zat makanan dalam konversinya sampai kepada hasil sisa disebut dengan *metabolisme*. Metabolisme biasa diartikan juga sebagai perubahan-perubahan yang terjadi pada zat makanan yang telah diserap dan yang ada kaitannya dalam perombakan jaringan-jaringan tubuh.

Menurut Affandi dan Tang (2002), melalui proses oksidasi, zat makanan karbohidrat, protein, dan lemak dari susunan kompleksnya akan dipecah ke dalam bentuk yang sederhana sehingga akan dibebaskan karbon oksida dan diproduksi *adenosin triphosphat* (ATP) yang merupakan cadangan energi. Makanan yang dikonsumsi, pertama kali akan mengalami pencernaan (digesti) enzimatik. Selama di dalam proses, komponen-komponen makanan yang bervariasi akan dihidrolisa ke dalam satuan-satuan dasarnya. Karbohidrat akan dipecah menjadi monosakarida, lemak menjadi gliserol dan asam lemak sedang protein dirubah kedalam asam amino-asam amino. Proses ini berlangsung di dalam saluran pencernaan. Hasil pencernaan melalui dinding usus akan masuk ke dalam darah untuk didistribusikan ke dalam sel-sel tubuh. Hal ini disebut sebagai absorpsi zat makanan. Semua proses perubahan atau pembentukan energi tersebut berlangsung di dalam sel (*cellular respiration*). Proses metabolisme tersebut akan berlangsung dengan baik dan efisiensi pakan akan tinggi apabila tersedia oksigen yang cukup, sehingga konversi pakan bisa ditekan.

### 6.2.2. Penyebab Lodos

Ada beberapa kejadian yang dapat menyebabkan terjadinya gejala kadar oksigen rendah, antara lain :

- 1) Kematian Plankton (*Die Off*)

Plankton dapat mengalami kematian mendadak secara massal (*die off*). Pada kondisi ini konsentrasi oksigen terlarut akan mengalami penurunan yang drastis (*depletion*), apalagi jika terjadi pada waktu malam hari dimana terjadi proses penurunan *dissolved oxygen* (DO) dalam kolam (Boyd, 1990). Kondisi ini dapat terjadi apabila terjadi *blooming plankton* yang ditandai dengan rendahnya kecerahan air (<30 cm). Beberapa indikasi kematian plankton secara umum antara lain cepatnya perubahan air menjadi lebih jernih (dalam waktu beberapa jam), kecerahan meningkat drastis diikuti dengan perubahan warna air dari hijau menjadi coklat dan timbul busa di permukaan air. Tindakan korektif biasanya terbatas pada penggantian air dan penambahan aerasi sampai kondisi membaik, biasanya membutuhkan waktu 2-3 hari.

#### 2) *Blooming* Plankton

*Blooming* plankton yang ditandai dengan kecerahan <30 cm akan menyebabkan konsentrasi oksigen mencapai puncaknya pada siang bahkan bisa mencapai *over saturation* dan mencapai titik terendah pada waktu malam sampai pagi hari. Hal ini disebabkan pada waktu malam hari semua organisme air termasuk fitoplankton menggunakan oksigen (untuk respirasi) yang dapat mencapai 60% sampai 80% konsumsi oksigen di kolam (Boyd, 1990).

#### 3) Cuaca Berawan

Sinar matahari dan fitoplankton melalui fotosintesis merupakan sumber terjadinya hampir semua oksigen terlarut dalam air (kolam). Karena itu cuaca berawan atau hujan satu atau dua hari apalagi kalau terjadi beberapa hari berturut-turut tanpa sinar matahari akan mengurangi fotosintesis yang berarti munculnya kondisi oksigen terlarut yang rendah (Wurts, 1993).

#### 4) *Overturms*

*Overturms* atau pembalikan air di kolam yang disebabkan oleh angin atau hujan deras bisa menimbulkan kondisi oksigen terlarut rendah dengan jalan mencampur air berkualitas rendah dari dasar kolam (*anaerob*) dengan air berkualitas baik di permukaan (Wurts, 1993).

#### 5) Dekomposisi Bahan Organik

Dekomposisi bahan organik oleh bakteri membutuhkan oksigen terlarut sehingga dasar kolam sering dalam kondisi anaerob (Wurts, 1993). Akumulasi limbah yang berlebihan dapat mengakibatkan turunnya oksigen terlarut secara drastis yang biasanya terjadi pada malam atau pagi hari yang bisa menimbulkan oksigen rendah dalam kolam sehingga dapat membahayakan ikan yang dipelihara. Di kolam ikan semi intensif dan intensif, penggunaan oksigen untuk penguraian bahan organik sering melebihi konsumsi oksigen oleh udang (Boyd, 1990).

#### 6.2.3. Efek Lodos

Meskipun konsentrasi oksigen rendah dalam beberapa kasus belum menyebabkan kematian, tetapi sudah dapat mempengaruhi metabolisme ikan dan udang serta memperlambat pertumbuhan (Zonneveld *et al.*, 1991). Indikasi kekurangan oksigen secara visual dapat dilihat dengan adanya udang yang berenang di permukaan air, nafsu makan turun sampai yang paling parah timbulnya kematian. Pengaruh konsentrasi oksigen rendah terhadap ikan dan udang antara lain :

1. Pertumbuhan lambat (*slow growth*)
2. Mudah terserang penyakit (*susceptible to disease*)
3. Nafsu makan turun (*Loss of Appetite*)
4. Ikan tidak mampu mengubah pakan menjadi daging secara efisien
5. Kematian.

#### 6.2.4. Pencegahan Lodos

Pengelolaan oksigen dapat dilakukan secara biologis maupun mekanis, yaitu :

1. Mengendalikan keberadaan fitoplankton di air kolam agar tidak sampai mengalami *die off* sehingga deposit oksigen dapat dipertahankan. *Die off* fitoplankton dapat dihindari dengan beberapa tindakan antara lain: ganti air secara rutin dan meningkatkan alkalinitas dengan aplikasi kapur terutama dolomit secara rutin.
2. Menghindari *blooming* fitoplankton dengan cara mengendalikan input bahan organik (penurunan *feeding rate*), penggunaan biofilter berupa bakteri yang dapat

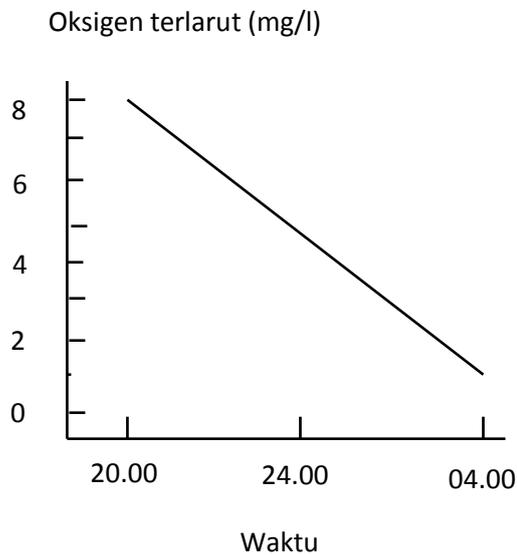
menyerap nutrisi terutama nitrogen anorganik seperti bakteri nitrifikasi (*nitrosomonas*, *nitrobacter*) dan bakteri heterotrof seperti *Bacillus* atau menggunakan hewan pemakan plankton seperti ikan nila.

3. Mengurangi *oxygen demand* dengan memperbaiki manajemen dasar kolam misalnya dengan penyiponan secara rutin
4. Memperbaiki manajemen pakan untuk mencegah *over feeding* yang berakibat pada tingginya limbah dan meningkatnya *oxygen demand*.
5. Menurunkan kandungan karbondioksida dalam air dengan perlakuan dolomit atau Kalsium hidroksida.
6. Pengelolaan secara mekanis dapat dilakukan dengan manajemen aerator yang baik yang dapat mencegah timbulnya penurunan oksigen terlarut terutama pada cuaca berawan dan hujan serta pada malam hari.

#### **6.2.5. Oksigenasi**

Oksigenasi merupakan tindakan untuk meningkatkan kandungan oksigen terlarut dalam kolam budidaya ikan. Oksigenasi sangat diperlukan dalam budidaya ikan terutama untuk budidaya ikan atau udang dengan skala intensif. Budidaya ikan secara intensif dengan kepadatan penebaran tinggi membutuhkan oksigen terlarut tinggi baik untuk respirasi ikan maupun dekomposisi bahan-bahan organik sebagai hasil samping dari proses budidaya (Wurts, 1993). Kepadatan penebaran yang tinggi membutuhkan input pakan yang tinggi pula sehingga limbah yang dihasilkan semakin banyak. Semakin tinggi kandungan limbah organik, semakin banyak pula oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikannya.

Oksigen terlarut dalam kolam pada siang hari dapat tercukupi dari fotosintesis tumbuhan air (fitoplankton), namun pada malam hari karena tidak ada sinar matahari, fitoplankton tidak dapat memproduksi oksigen terlarut sehingga suplainya terhenti. Semua organisme dalam kolam baik ikan, bakteri maupun fitoplankton sendiri membutuhkan oksigen terlarut untuk respirasi. Oksigen yang tersedia di kolam ikan berasal dari "simpanan" oksigen yang diproduksi oleh fitoplankton pada siang hari, akibatnya oksigen terlarut akan mengalami penurunan pada malam hari terutama pada dini hari, seperti yang dijelaskan oleh Boyd (1990) pada Gambar 26.



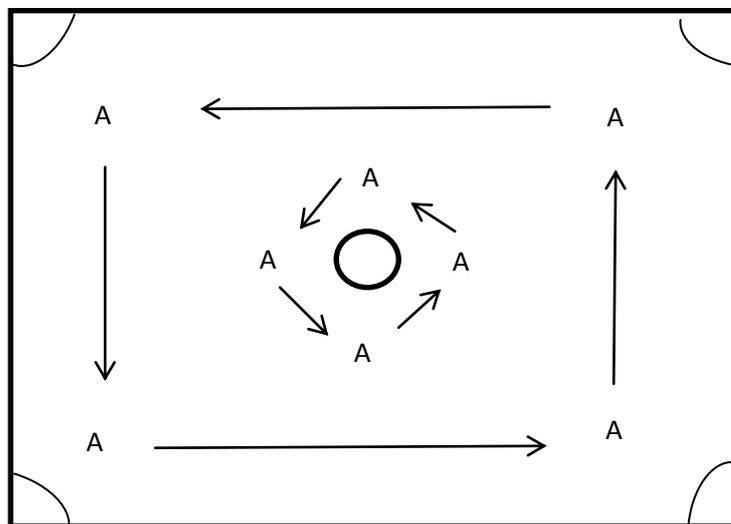
Gambar 26. Kandungan oksigen terlarut di kolam pada malam hari (Boyd, 1990)

Pada kolam tradisional dengan kepadatan ikan/udang rendah, kondisi ini tidak banyak mengalami permasalahan karena daya dukung lingkungan dan kebutuhan oksigen masih tercukupi. Lain halnya dengan kolam dengan kepadatan penebaran tinggi dan input pakan yang banyak, daya dukung lingkungan terutama ketersediaan oksigen dalam kolam tidak mencukupi untuk mendukung aktivitas biologis organisme di dalamnya. Kondisi ini (kekurangan oksigen pada malam hari) dapat diperparah jika terjadi *blooming* fitoplankton (kecerahan > 30 cm) yang menyebabkan oksigen pada siang hari mencapai lewat jenuh tetapi akan mengalami penurunan secara drastis pada malam hari. Untuk mencegah terjadinya deplesi oksigen terlarut pada malam hari, kolam budidaya ikan/udang yang dikelola secara intensif harus dilengkapi dengan aerator sebagai sumber oksigen terutama pada malam hari (Wurts, 1993).

Aerator mempunyai beberapa fungsi dalam budidaya ikan/udang, antara lain sebagai sumber oksigen terlarut, mencegah stratifikasi variabel kualitas air, seperti oksigen terlarut, pH, plankton, salinitas, dan lain-lainnya, mengatur posisi lumpur/sedimen, memaksimalkan *feeding area*, dan mengurangi daerah tergenang (*stagnant area*). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan aerator telah memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kandungan oksigen terlarut dalam kolam ikan. Efek pengadukan yang dihasilkan oleh aerator akan

menghindari stratifikasi variabel kualitas air. *Blooming blue green* algae menyebabkan stratifikasi oksigen terlarut, suhu, dan plankton dimana *blue green* algae akan naik ke permukaan. Pengadukan air akan mencegah stratifikasi kualitas air dan menghambat dominasi *blue green algae* dalam kolam.

Untuk organisme yang hidup di dasar kolam, seperti udang, posisi lumpur dapat mempengaruhi nafsu makan dan efisiensi pemberian pakan. Semakin besar dasar kolam yang bersih, semakin besar pula daerah yang bisa digunakan untuk penempatan pakan (*feeding area*). Pakan yang masuk ke dalam lumpur akan sulit dimanfaatkan oleh udang sehingga mengurangi efisiensi pemberian pakan. Penempatan (*setting*) posisi aerator sangat menentukan posisi terkumpulnya lumpur di dasar kolam. *Setting* aerator bertujuan untuk memaksimalkan daerah bersih (*clean zone*) dan memperkecil daerah stagnan (*death zone*) serta mempermudah pembuangan limbah (sisa pakan dan feses). Contoh *setting* aerator untuk budidaya udang terdapat pada Gambar 27.



A = aerator                      → = arah arus

Gambar 27. *Setting* aerator pada tambak udang.

Jenis aerator yang dapat diaplikasikan pada budidaya ikan ada beberapa jenis, antara lain : Paddlewheel dan Propeller Aspirator Pump. *Paddlewheel* (Gambar 28) dan

*Propeller aspirator pump* (29) paling banyak digunakan untuk budidaya terutama budidaya udang. Paddlewheel atau sering disebut kincir air mempunyai kapasitas menghasilkan oksigen terlarut dalam air sebanyak 2-2,5 kg O<sub>2</sub>/HP/jam (Boyd dan Ahmad, 1987), sementara *Propeller aspirator pump* mampu menghasilkan 0,95-1,4 kg O<sub>2</sub>/HP/jam.



Gambar 28. *Paddlewheel*



Gambar 29. *Propeller aspirator pump*

Secara praktis, penentuan jumlah aerator yang dibutuhkan dapat ditentukan berdasarkan jumlah pakan per hari yang dimasukkan ke dalam kolam, yaitu setiap 8-10 kg pakan per hari membutuhkan 1 HP (*horse power*) aerator atau berdasarkan biomasa yang ada dalam kolam seperti yang terdapat pada Tabel 12.

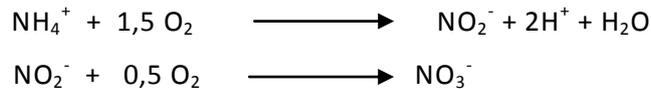
Tabel 12. Kebutuhan aerator berdasarkan biomasa udang.

<b>Kepadatan udang (ekor/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>	<b>Aerator (HP)</b>
50	5.000	10
60	6.000	12
70	7.000	14
80	8.000	16
90	9.000	18
100	10.000	20

### 6.3. Nitrifikasi dan Denitrifikasi

#### 6.3.1. Nitrifikasi

Nitrifikasi adalah proses biologis yang akan mengoksidasi ion amonium menjadi bentuk nitrit atau nitrat. Secara umum, reaksi nitrifikasi adalah sebagai berikut (Boyd, 1990) :



Pada reaksi pertama dibantu oleh *ammonia oxidizing bacteria* (AOB) seperti *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *nistrosolobus*, dan *Nitrosovibrio*, sedangkan pada reaksi kedua dibantu oleh *nitrite oxidizing bacteria* (NOB) seperti *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira*, dan *Nitrospina* (Ebeling *et al.*, 2006). Bakteri nitrifikasi termasuk bakteri *chemoautotroph* karena menggunakan  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_2^-$  sebagai sumber energi dan  $\text{CO}_2$  sebagai sumber karbon dan termasuk bakteri aerob karena menggunakan oksigen untuk tumbuh (Hagopian dan Riley, 1998).

Nitrifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Konsentrasi bakteri nitrifikasi

Bakteri nitrifikasi yang dikenal dan paling penting adalah *Nitrosomonas* yang mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan *Nitrobacter* yang mengoksidasi nitrit menjadi nitrat. Proses nitrifikasi akan berjalan cepat apabila konsentrasi bakteri nitrifikasi cukup tinggi.

2. Oksigen terlarut

Bakteri nitrifikasi adalah bakteri aerobik, oleh karena itu ketersediaan oksigen terlarut sangat dibutuhkan untuk menunjang kehidupannya (Hagopian dan Riley, 1998). Pada proses penguraian amoniak menjadi nitrat maka untuk setiap 2 mg nitrogen dari amonia membutuhkan 4,37 mg oksigen untuk proses oksidasinya (Boyd, 1990). Bila limbah mengandung kadar amonia yang sangat tinggi maka proses oksidasi tidak akan berlangsung apabila ketersediaan oksigen terbatas.

### 3. Suhu

Nitrifikasi dapat berlangsung dengan baik pada suhu 25-35°C (Boyd, 1990). Bakteri nitrifikasi tergolong mikroba mesofilik. Nitrifikasi yang dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari suhu optimumnya maka akan menyebabkan laju pertumbuhan mikroba lambat dan berakibat pada peningkatan waktu retensinya. Pada kondisi tersebut nitrifikasi tetap berlangsung walaupun membutuhkan waktu yang lebih lama.

### 4. pH

Pada umumnya bakteri nitrifikasi mempunyai pH pertumbuhan optimum pada rentangan basa dan pH optimum untuk proses nitrifikasi adalah: 7,5 – 8,5 (Boyd, 2007). Pada pH rendah (pH 5,0-5,5), proses nitrifikasi masih dapat berlangsung dengan baik asalkan alkalinitas cukup tinggi.

### 5. Alkalinitas

Selama proses nitrifikasi akan dihasilkan ion hidrogen yang akan menyebabkan penurunan pH. Alkalinitas dibutuhkan untuk menahan (*buffer*) penurunan pH ini sehingga proses nitrifikasi tetap berlangsung dengan baik. Secara teoritis, untuk membentuk 1 gram nitrat dibutuhkan 7,1 gram molekul alkalinitas setara dengan  $\text{CaCO}_3$  (Ebeling *et al.*, 2006; Boyd, 2007).

### 6. Substrat

Bakteri nitrifikasi membutuhkan substrat sebagai tempat untuk menempel dan berkembang. Adanya substrat sangat menunjang kelangsungan dan perkembangan bakteri ini. Konsentrasi amonia dan nitrat serta rasio C:N media mempengaruhi tingkat nitrifikasi (Timmons *et al.*, 2002).

#### 6.3.2. Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat dan nitrit, dimana nitrat dan nitrit digunakan sebagai terminal hidrogen pada saat potensial oksigen rendah. Proses denitrifikasi ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu :

##### 1. Konsentrasi bakteri denitrifikasi

Proses denitrifikasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan konsentrasi bakteri denitrifikasi yang cukup tinggi. Beberapa bakteri denitrifikasi antara lain : *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Denitro-bacillus*, *Spirillum*, dan *Achromobacter*.

2. Bahan organik

Pada proses denitrifikasi dibutuhkan bahan organik sebagai sumber karbon. Oleh karena itu bakteri denitrifikasi ini termasuk bakteri *heterotroph*.

3. Oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*)

Bakteri denitrifikasi termasuk bakteri fakultatif yang dapat hidup baik dengan sedikit atau tanpa oksigen. DO maksimal yang dikehendaki bakteri denitrifikasi adalah 0,2 ppm, lebih dari ini bakteri denitrifikasi akan terhambat.

4. pH

Proses denitrifikasi akan berlangsung dengan baik pada pH sekitar 7-8. Akan tetapi tidak dijumpai korelasi antara pH dengan parameter denitrifikasi yang lain. Mikroba yang berperan pada proses denitrifikasi biasanya dapat beradaptasi pada kisaran pH yang luas (5,0-9,5).

5. Suhu

Suhu akan mempengaruhi waktu retensi minimum. Waktu retensi minimum untuk proses denitrifikasi adalah 12 jam pada suhu 20 – 30°C dan selama 2 hari (24 jam) pada suhu 10°C.

#### 6.4. Sedimentasi

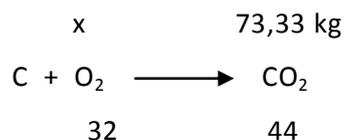
Sedimentasi dalam kolam budidaya dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain: erosi dari tanggul, partikel tersuspensi yang dibawa oleh air, tumbuhan dan ikan yang mati, dan kotoran ikan serta sisa pakan yang tidak termakan oleh ikan. Sedimen mempunyai efek negatif, antara lain mengurangi volume kolam, sumber senyawa beracun, meningkatkan kebutuhan oksigen (*oxygen demand*), dan mempengaruhi kualitas air dan produktivitas kolam (Boyd, 1995, Davis *et al.*, 2006). Kondisi anaerobik di dasar kolam dapat menyebabkan munculnya senyawa beracun seperti NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S (Boyd *et al.*, 2002). Oksidasi H<sub>2</sub>S membutuhkan

banyak oksigen terlarut yang dapat memperburuk kondisi dasar kolam. Sedimentasi dapat diminimalisir dengan kontrol pakan dan pengecekan dasar kolam dan pembuangan secara rutin serta aplikasi bakteri pengurai.

Bakteri heterotrof sangat berperan dalam proses penguraian bahan organik dalam kolam ikan. Dekomposisi bahan organik tersebut membutuhkan oksigen terlarut melalui respirasi bakteri. Kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik dapat dihitung berdasarkan kandungan karbon organik sedimen dan reaksi respirasi bakteri (Boyd, 1990). Misalkan 50 kg bahan organik mengandung 40% karbon yang akan diuraikan, maka dalam bahan organik tersebut mengandung :  $50\text{kg} \times 40\% = 20 \text{ kg}$  karbon. Reaksi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut (Boyd, 1990) :



- 20 kg C organik dalam 50 kg bahan organik tersebut akan menghasilkan 20 kg C dalam  $\text{CO}_2$ .
- $\text{CO}_2 : \underset{\substack{\downarrow \\ 20}}{\text{C}} = 44 : 12$  (BM  $\text{CO}_2 = 44$ , BA C = 12)
- $\text{CO}_2$  yang terbentuk =  $20 \times 44/12 = 73,33 \text{ kg}$
- Kebutuhan oksigen :



$$\begin{aligned} x &= 73,35 \times 32/44 \\ &= 53,33 \text{ kg oksigen} \end{aligned}$$

Jadi bakteri membutuhkan 53,33 kg oksigen untuk menguraikan 50 kg bahan organik yang mengandung 40% karbon. Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa setiap 1 kg C organik membutuhkan 2,67 kg oksigen untuk menghasilkan karbondioksida.

Selain dekomposisi oleh bakteri, sedimen berupa bahan organik maupun anorganik dapat diatasi dengan melakukan penyiponan secara rutin dan pembuangan bersama air melalui saluran tengah kolam (*central drain*).

## 6.5. Fitoplankton

### 6.5.1. Blooming Fitoplankton

Fenomena yang sering terjadi dalam kolam ikan/udang dan menjadi masalah yang serius adalah *blooming* fitoplankton. Budidaya ikan/udang dengan sistem semi intensif dan intensif menimbulkan efek negatif berupa limbah organik dan anorganik yang mengendap di dasar kolam ataupun terlarut dalam air. Kandungan protein yang tinggi pada pakan (>30%) menghasilkan amonia dalam jumlah yang besar. Tingginya kandungan amonia ini akan memicu pertumbuhan fitoplankton diluar kendali (*blooming*). Menurut *World Health Organization* (WHO), fitoplankton dianggap *blooming* bila kepadatannya mencapai 100.000 sel/ml, jika diukur kecerahan air dengan menggunakan *secchi disk* kurang dari 30 cm (Stone and Daniels, 2014). Kecerahan kurang dari 20 cm mengindikasikan kepadatan fitoplankton sudah mencapai tingkatan yang berbahaya bagi ikan.

*Blooming* fitoplankton menyebabkan kandungan oksigen terlarut perairan menjadi tinggi melebihi saturasi pada waktu siang hari (Brunson *et al.*, 1994). Oksigen terlarut yang dihasilkan oleh fitoplankton melalui proses fotosintesis akan dimanfaatkan kembali oleh semua organisme dalam kolam seperti ikan, bakteri, zooplankton, maupun fitoplankton melalui proses respirasi. Semakin padat populasi fitoplankton semakin besar pula oksigen yang digunakan untuk proses respirasi pada malam hari sehingga akan mengakibatkan penurunan oksigen secara drastis (*depletion*) terutama pada dini hari. Penurunan kandungan oksigen terlarut dalam kolam yang diikuti dengan meningkatnya kandungan karbondioksida sebagai akibat dari hasil akhir respirasi menyebabkan ikan mengalami stres bahkan dapat menimbulkan kematian. Menurut Brunson *et al.* (1999), selain menyebabkan penurunan oksigen secara drastis pada dini hari, *Blooming* fitoplankton juga dapat menyebabkan kenaikan pH pada siang hari yang memicu meningkatnya konsentrasi  $\text{NH}_3$ . *Blooming* fitoplankton juga mendorong munculnya kematian masal *die off* yang membahayakan ikan.

Pertumbuhan fitoplankton dipengaruhi oleh suhu air, cahaya matahari, pH, kecerahan, dan konsentrasi nutrisi (Boyd, 2007). Pencegahan terhadap *blooming* fitoplankton ini dapat dilakukan dengan beberapa tindakan, antara lain :

- Mengurangi input pakan (feeding rate) baik dengan menurunkan kepadatan penebaran, memperbaiki manajemen pakan, maupun penggunaan pakan yang berkualitas. Hal ini bertujuan untuk mengurangi limbah baik karena sisa pakan maupun feses ikan yang banyak mengandung amonia.
- Menggunakan filter biologi untuk menyerap amonia yang dihasilkan, baik dengan menggunakan bakteri nitrifikasi dan tanaman air maupun dengan menggunakan pemangsa fitoplankton seperti ikan nila dan kerang hijau.
- Aplikasi molase atau sumber karbon lainnya untuk merangsang pertumbuhan bakteri heterotrof dengan menggunakan amonia sebagai sumber nitrogen anorganik untuk membentuk protein pada bakteri.
- Menggunakan "*shading*" untuk mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam kolam, seperti fermentasi saponin.
- Penggantian air secara rutin untuk menjaga kecerahan air sekitar 30-60 cm.

#### **6.5.2. Die Off Fitoplankton**

*Die off* fitoplankton adalah kematian secara massal fitoplankton yang terjadi dalam kolam budidaya ikan/udang. *Die off* diawali dengan kepadatan fitoplankton yang tinggi kemudian diikuti dengan kematian secara massal. *Die off* ditandai dengan adanya perubahan warna air dari hijau tua/ pekat menjadi hijau muda atau coklat muda dan penurunan tingkat kekeruhan dan oksigen terlarut. Fenomena ini sangat berbahaya bagi ikan, terlebih bagi udang yang sangat sensitif terhadap oksigen rendah. Dalam kondisi normal, sel fitoplankton yang mati akan diuraikan oleh bakteri dan mengalami mineralisasi. Nutrien yang dihasilkan akan digunakan kembali oleh fitoplankton atau bakteri. Namun ketika terjadi *blooming* dan mengalami kematian massal, algae yang masih hidup dan bakteri mengalami stres lingkungan sehingga tidak dapat memanfaatkan nutrisi tersebut. Kondisi ini akan memperburuk kualitas air dengan meningkatnya kandungan amonia dan.

penurunan oksigen terlarut (Brunson *et al.*, 1994) yang dapat menyebabkan kematian ikan.

Penyebab *die off* fitoplankton dalam ekosistem kolam sangat kompleks karena keterkaitannya dengan beberapa variabel kualitas air lainnya baik fisika maupun kimia. Ada beberapa dugaan yang menyebabkan munculnya *die off* fitoplankton dalam kolam ikan antara lain : keterbatasan nutrisi terutama nutrisi primer seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, tidak adanya regenerasi fitoplankton, dan oksigen terlarut rendah. Keterbatasan nutrisi primer terjadi ketika fitoplankton *blooming* (kekeruhan fitoplankton <20cm). Kebutuhan nutrisi semakin tinggi dengan meningkatnya kepadatan fitoplankton sementara input nutrisi baik dari pakan dan pupuk tidak mencukupi sehingga menimbulkan kematian fitoplankton secara masal.

Keterbatasan oksigen terlarut pada malam hari akibat *blooming* fitoplankton mengakibatkan persaingan organisme dalam kolam untuk memperoleh oksigen. Fitoplankton akan mengalami kekurangan oksigen terlarut untuk respirasi yang dapat menyebabkan kematian fitoplankton. Regenerasi fitoplankton yang lambat terjadi akibat keterbatasan nutrisi dan guncangan kualitas air lainnya seperti suhu dan salinitas.

Beberapa metode untuk mencegah *die off* fitoplankton yang dapat diaplikasikan dalam kolam ikan antara lain menjaga kepadatan plankton (30-60 cm), ganti air (*water exchange*) secara rutin, aerasi untuk menjaga kandungan oksigen terlarut >4 mg/l dan menghindari stratifikasi kualitas air, dan pemupukan baik nitrogen maupun fosfor.

### **6.5.3. Harmful Algal Blooms**

Fitoplankton berperan penting dalam mendukung kesuburan kolam ikan. Fitoplankton merupakan pakan alami baik bagi zooplankton maupun ikan secara langsung terutama pada fase larva/ikan kecil meskipun pada budidaya dengan sistem intensif yang mengandalkan pakan buatan. Namun demikian tidak semua jenis fitoplankton bermanfaat dalam budidaya ikan/udang bahkan ada yang merugikan.

Fenomena berkembangnya fitoplankton yang merugikan yang dapat menyebabkan keracunan pada ikan disebut dengan *harmful algal blooms* (HABs). Alga tersebut menyebabkan masalah yang serius pada budidaya ikan/udang karena dapat menimbulkan *off flavor*, mempengaruhi kualitas air, serta beracun bagi ikan/udang (Rodgers., 2008). Beberapa jenis fitoplankton yang berbahaya bagi ikan dan sering muncul dalam kolam ikan adalah *Blue green algae*, *euglena*, dan Dinoflagellata.

### **Blue Green Algae**

*Blue green algae* (BGA) atau disebut juga dengan Cyanobacteria jika mendominasi perairan akan menyebabkan terjadinya fluktuasi oksigen terlarut dan menghasilkan senyawa beracun serta menimbulkan penyimpangan bau dan rasa pada ikan/udang (*off flavor*). *Off flavor* tersebut disebabkan oleh geosmin dan methylisoborneol (MIB) yang disintesis oleh *blue green algae* (Boyd, 1990, Brunson *et al.*, 1994). Beberapa jenis *blue green algae* tersebut antara lain : *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Microcystis*, *Lyngbia*, dan *aphanizomenom*. Beberapa *blue green algae* juga mampu memproduksi senyawa beracun yang dapat membunuh ikan dan udang seperti *Anabaena* dan *Microcystis* (Rodgers, 2008).

*Blue green algae* sering naik ke permukaan dan membentuk busa, mampu menyerap panas sehingga suhu permukaan air meningkat serta menutupi permukaan air . Bagian atas berwarna mengkilat dan bagian bawah permukaan air bening (Gambar 30), terjadi stratifikasi oksigen terlarut, serta mudah mengalami kematian masal (*die off*) bila terjadi *blooming*. *Blue green algae* mampu mengeluarkan senyawa (*allelochemicals*) yang dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton jenis lainnya sehingga sering mendominasi perairan (Rodgers, 2008). *Blue green algae* mampu mengikat nitrogen langsung dari udara sehingga mampu berkembang di perairan yang miskin nitrogen.

Faktor-faktor yang mendorong pertumbuhan *blue green algae* antara lain salinitas (Sunda *et al.*, 2006), konsentrasi nutrisi (rasio N:P), dan pH tinggi (Boyd, 2009). *Blue green algae* tumbuh baik pada perairan dengan salinitas rendah, dibawah 10 ppt. Rasio N:P rendah (<10) *blue green algae* masih bisa tumbuh dengan baik, sementara diatom dan Chlorophyta terhambat. Nilai pH lebih dari 8,3 akan

mendorong pertumbuhan *blue green algae* karena alga tersebut lebih toleran pada kondisi bahan organik rendah dan konsentrasi karbondioksida rendah. Kolam ikan dengan input pakan yang tinggi dan kandungan karbondioksida rendah merupakan ekosistem yang cocok bagi *blue green algae* (Boyd, 2009)

Beberapa metode telah digunakan untuk mengatasi *bloomimg blue green algae*. Beberapa algasida seperti Cupri sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ), simazine, dan potasium ricinoleate. Cuprisulfat dengan konsentrasi 2,0 mg/l mampu membunuh 53% *blue green algae* (Boyd, 1990). Namun penggunaan bahan-bahan kimia tersebut menyebabkan penurunan oksigen terlarut dan menimbulkan stres bagi ikan (Rodgers, 2008). Disamping itu penggunaan bahan kimia hanya bertahan beberapa minggu kemudian muncul lagi karena kondisi lingkungan mendukung pertumbuhan fitoplankton tersebut (Brunson *et al.*, 1994). Penggunaan molase untuk meningkatkan aktivitas bakteri disarankan oleh Boyd (1990) dan Avnimelech (2009). Aktivitas bakteri heterotrof dapat meingkatkan kandungan karbondioksida naik sehingga pH turun yang dapat menghambat pertumbuhan *blue green algae* (Brunson *et al.*, 1994). Rodgers (2008) menyarankan treatmen tanpa bahan kimia, yaitu (1) pencampuran air dan aerasi, (2) meningkatkan volume pergantian air, dan (3) mengurangi input nutrien ke dalam kolam.



Gambar 30. *Blue green algae*

### **Dinoflagellata**

Dinoflagellata berukuran antara 7  $\mu$  sampai 2 mm, mempunyai dua flagel, hidup di air laut, payau dan tawar. *Noctiluca* merupakan jenis dinoflagellata yang

berukuran paling besar. Beberapa spesies mampu menghasilkan cahaya (*bioluminescence*) dan neurotoksin. Pada waktu gelap, dinoflagellata mengeluarkan cahaya biru cerah (*luminescence*) sebagai reaksi adanya gerakan dalam air. Mekanisme ini dipengaruhi oleh aktivitas enzim (*luciferases*) atas *luminescent (luciferins)* dan membutuhkan oksigen (Behera, 2014). Jika terjadi *blooming* dapat menyebabkan warna air menjadi merah atau sering disebut dengan *red tide* (pasang merah). Beberapa jenis dinoflagellata yang berbahaya antara lain *Gonyaulax polygramma* menyebabkan penurunan oksigen, *Dinophysis acuta* menyebabkan *diarrhetic shellfish poisoning (DSP)*, *Alexandrium acatenella* menyebabkan *paralytic shellfish poisoning (PSP)*, dan *Gymnodinium mikimotoi* menyebabkan kerusakan insang pada ikan/udang.

*Blooming* dinoflagellata dapat menyebabkan kerusakan pada ikan karena toksin yang dikeluarkan. Ikan mengalami kematian karena sel alga tersebut terperangkap dalam insang sehingga mengganggu proses respirasi. Oksigen terakumulasi dalam perairan akan mengalami penurunan yang dapat meningkatkan konsentrasi senyawa beracun seperti amoniak dan H<sub>2</sub>S. Fluktuasi pH meningkatkan patogen dalam kolam sehingga meningkatkan peluang terjadinya penyakit pada ikan (Behera, 2014).

### ***Prymnesium***

Alga lain yang menghasilkan toksin bagi ikan adalah *Prymnesium* (Boyd, 2009). *Blooming Prymnesium terutama P. parvum* dapat menyebabkan kematian ikan. *P. parvum* sering disebut dengan alga emas, berukuran sangat kecil (< 10µ), dan mengandung klorofil *a* dan *c* yang memungkinkan bisa melakukan fotosintesis (Rodgers 2008). *Prymnesium* mampu menghasilkan beberapa toksin, antara lain : *ichthyotoxin*, *cytotoxin*, dan *hemolysin* (Ulitzer, 1973). Hemolysin merupakan protein yang dapat merusak sel darah merah. Ichthyotoxin mempengaruhi insang ikan dalam proses pernapasan dan menyebabkan insang kehilangan *selective permeability* sehingga tidak dapat menyaring toksin yang ada di air (Shilo, 1967). *Prymnesium parvum* menyebabkan warna air menjadi kuning coklat dan berbusa jika diaerasi, nafsu makan ikan turun, pertumbuhan terhambat, dan timbul kematian. Penanganan alga ini dapat dilakukan dengan treatment 2-4 mg/l potasium permanganat (Boyd, 2009).

## VII. APLIKASI BAHAN KIMIA

### 7.1. Prinsip Aplikasi

Aplikasi bahan kimia dibutuhkan dalam budidaya perairan dengan kondisi tertentu sesuai kebutuhan. Dalam aplikasi bahan kimia ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar perlakuan tersebut efektif sesuai dengan sasaran yang dikehendaki antara lain (Boyd, 1990) : target (sasaran), volume air, jenis bahan kimia, sifat bahan kimia, bahan aktif, konsentrasi, metode aplikasi, kondisi ikan/udang, kondisi kolam, cuaca, dan tindakan antisipasi.

Aplikasi bahan kimia mempunyai tujuan dan sasaran tertentu yang hendak dicapai, misalnya membunuh karier, mengurangi densitas plankton, menekan patogen, merangsang molting, memperbaiki kualitas air, dan lain sebagainya. Berdasarkan sasaran yang hendak dicapai dapat ditentukan jenis bahan kimia, konsentrasi, dan metode aplikasinya.

Volume air menentukan berapa banyak bahan kimia yang dibutuhkan sesuai dengan konsentrasi yang dikehendaki. Volume kolam dapat dihitung dengan persamaan

$$: \quad V = P \times L \times P$$

V = volume air

P = panjang kolam

L = lebar kolam

T = kedalaman air rata-rata

Bahan kimia yang digunakan dalam budidaya perairan bermacam-macam sesuai dengan tujuan aplikasi. Bahan kimia yang sering digunakan dalam budidaya perairan antara lain : pupuk, kapur, formalin, peroksida, kalium permanganat, sodium bikarbonat, saponin, dan kuprisulfat. Sifat bahan kimia harus dipahami sebelum melakukan aplikasi agar efektif dan menghindari timbulnya dampak negatif pada ikan/udang yang dipelihara. Beberapa sifat bahan kimia yang perlu diketahui antara lain : kelarutan dalam air, reaksi dalam air, kontra indikasi, faktor penghambat, dan faktor pendukung efektivitas perlakuan.

Bahan aktif dan kandungannya dalam bahan kimia harus diketahui agar sesuai target dan konsentrasi yang diaplikasikan tepat. Contoh bahan aktif yang ada pada bahan kimia adalah klor yang terdapat pada kaporit dengan kandungan 60% serta *formaldehyde* yang terdapat pada formalin dengan kandungan 37%. Konsentrasi yang dibutuhkan masing-masing bahan kimia serta tujuan yang digunakan berbeda-beda. Kaporit dengan konsentrasi 20-30 mg/l digunakan untuk sterilisasi air, sedangkan konsentrasi 5 mg/l digunakan untuk *partial dropping plankton*. Konsentrasi batas aman (*safety level*) harus diketahui untuk menghindari dampak buruk bagi ikan.

Metode aplikasi harus dipilih yang paling efektif dan efisien berdasarkan target, sifat bahan kimia, peralatan dan tenaga pelaksana. Kondisi ikan atau udang sebelum aplikasi harus diperhatikan, misalnya umur, kepadatan, molting bagi udang, dan sebagainya. Demikian juga dengan kondisi kolam, limbah organik yang menumpuk di dasar kolam serta yang tersuspensi dalam air dapat mengganggu efektivitas bahan kimia yang diaplikasikan. Limbah organik yang ada di dasar kolam hendaknya disipon terlebih dahulu sebelum aplikasi bahan kimia.

Beberapa bahan kimia mensyaratkan cuaca yang cerah untuk mendukung efektivitasnya. Aplikasi klorin dan pemupukan anorganik seperti urea hendaknya dilakukan pada cuaca cerah begitu juga dengan formalin untuk menjaga efektivitasnya dan menghindari penurunan oksigen secara drastis. Penebaran pupuk fosfor dilakukan sedikit demi sedikit dalam bentuk cair karena dapat terikat oleh tanah. Tindakan antisipasi diperlukan untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan terjadi setelah aplikasi bahan kimia. Salah satu contoh menyediakan air yang cukup untuk mengantisipasi jika diperlukan pergantian air yang banyak.

## **7.2 Oksidator**

### **1. Potasium permanganat ( $KMnO_4$ )**

Potasium permanganat mengoksidasi bahan organik dan anorganik dan mampu membunuh bakteri (Boyd, 1990), sehingga mampu menurunkan tingkat konsumsi oksigen secara kimia maupun biologi (Wilkinson, 2002). Perlakuan ini juga mampu mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam kolam sehingga dapat

menghambat pertumbuhan fitoplankton. Aplikasi yang disarankan 2-4 mg/l pada kolam yang kekurangan oksigen. Bahan kimia ini juga dapat digunakan untuk mengatasi penyakit yang disebabkan oleh bakteri.  $\text{KMnO}_4$  sangat efektif untuk membunuh bakteri. Pada kolam dengan kandungan bahan organik rendah, 2 mg/l  $\text{KMnO}_4$  dapat membunuh 99% gram negatif bakteri (Boyd, 1990).

Toksisitas  $\text{KMnO}_4$  berasal dari  $\text{MnO}_4^-$  yang menyebabkan kerusakan sel melalui proses oksidasi. Dalam air,  $\text{MnO}_4^-$  bereaksi dengan bahan organik dan material lainnya dan tereduksi menjadi  $\text{MnO}_2$  yang relatif tidak toksik. Besarnya permanganat yang tereduksi menjadi  $\text{MnO}_2$  (*manganese dioxide*) disebut dengan *potassium permanganate demand*. Toksisitas  $\text{KMnO}_4$  terhadap bakteri menurun dengan meningkatnya *potassium permanganate demand*.

*Pottasium permanganate* yang diaplikasikan pada kolam budidaya akan meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air. Oksigen akan terbentuk jika *pottasium permanganate* pada kolam yang mengandung bahan organik. Hal ini disebabkan karena ion permanganat mengoksidasi bahan organik dan menurunkan bahan anorganik untuk menghasilkan  $\text{MnO}_2$ , seperti pada reaksi berikut ini :



$\text{MnO}_2$  menjadi katalisator untuk reaksi berikutnya yang menghasilkan oksigen, sesuai dengan reaksi berikut ini :



Berdasarkan reaksi tersebut,  $\text{KMnO}_4$  yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1mg/l oksigen adalah :

$$\begin{array}{rcl} 632,16 \text{ mg} & & 96 \text{ mg} \\ 4 \text{ KMnO}_4 & = & 3 \text{ O}_2 \\ x & & 1 \text{ mg/l} \\ x = 632,16/96 = 6,58 \text{ mg/l KMnO}_4 \end{array}$$

Namun demikian, aplikasi potassium permanganat 6,58 mg/l sangat mahal dan dapat menyebabkan kematian pada ikan (Boyd, 1990).

Potassium permanganat efektif untuk mereduksi bahan anorganik seperti *ferrous iron* dan  $\text{H}_2\text{S}$  (Wilkinson, 2002). Aplikasi  $\text{KMnO}_4$  pada kolam yang

mengandung *ferrous iron*, akan dioksidasi menjadi ferri hidroksida seperti pada reaksi berikut ini :



Kebutuhan  $\text{KMnO}_4$  untuk mereduksi 1 mg/l *ferrous iron* adalah (Boyd, 1990) :

$$\begin{array}{rcl} 158,04 \text{ mg} & & 167,55 \text{ mg} \\ \text{KMnO}_4 & = & 3 \text{Fe}^{2+} \\ x & & 1 \text{ mg/l} \end{array}$$

$$x = 158,04/167,55 = 0,94 \text{ mg/l KMnO}_4$$

Sedangkan kemampuan  $\text{KMnO}_4$  untuk mereduksi  $\text{H}_2\text{S}$  dapat di lihat dari reaksi berikut ini :



$$\begin{array}{rcl} 632,16 \text{ mg} & & 102,18 \text{ mg} \\ \text{KMnO}_4 & = & \text{H}_2\text{S} \\ x & & 1 \text{ mg/l} \end{array}$$

$$x = 632,16/102,18 = 6,19 \text{ mg/l KMnO}_4$$

Jadi untuk mereduksi 1 mg/l  $\text{H}_2\text{S}$  diperlukan 6,19 mg/l  $\text{KMnO}_4$  .

## 2. Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

Peroksida merupakan oksidator kuat, berupa cairan bening, mengandung 50% bahan aktif, dan selalu melepaskan oksigen. Peroksida banyak digunakan dalam bidang perikanan, baik dalam budidaya maupun dalam transportasi benih. Peroksida dapat menghasilkan oksigen berdasarkan reaksi sebagai berikut (Boyd, 1990)

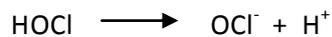


Hidrogen peroksida juga dapat mengoksidasi bahan organik dalam air serta menyebabkan plankton mati masal sehingga menimbulkan akumulasi bahan organik di dasar kolam.

## 7.3. Desinfektan

### 1. Kaporit

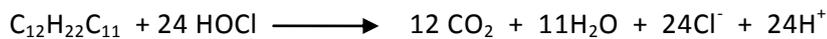
Kaporit atau *calcium hypochlorite* mempunyai rumus kimia :  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ . Di dalam air kaporit terhidrolisis dan membentuk klor bebas aktif, dengan reaksi :



Klorin bereaksi dengan bahan organik dalam air dan mengoksidasinya berdasarkan reaksi :



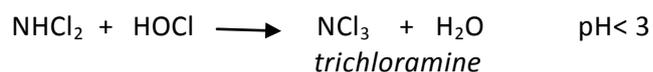
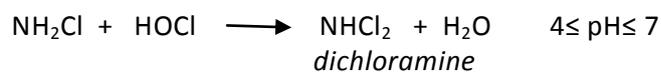
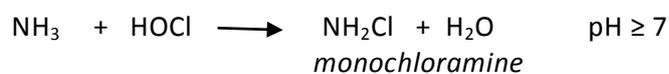
Klorin bereaksi dengan karbohidrat, seperti laktosa, membentuk karbondioksida dan air dengan reaksi sebagai berikut (Boyd, 1990) :



Berdasarkan reaksi tersebut, 3,68 mg/l HOCl digunakan untuk mengoksidasi 1mg/l laktosa.

Kaporit sering digunakan untuk desinfeksi karena dalam reaksinya menghasilkan klor bebas aktif (HOCl dan OCl<sup>-</sup>), bersifat desinfektan yang dapat membunuh bakteri, alga (bersifat *phytotoxic*), dan organisme lainnya. Klor juga dapat mengoksidasi ion-ion logam seperti Fe<sup>2+</sup> dan Mn<sup>2+</sup> menjadi Fe<sup>3+</sup> dan Mn<sup>4+</sup>. Kaporit juga bereaksi dengan amoniak dan senyawa nitrogen organik.

Dalam air, amoniak akan bereaksi dengan klor atau asam *hypochlorite* membentuk *monochloramine*, *dichloramine*, dan *trichloramine* sesuai dengan pH sesuai reaksi berikut :



Klor yang terdapat pada air dapat mengalami *photolysis* atau pemecahan oleh sinar matahari sehingga menjadi turun daya desinfeksi. Pada budidaya udang, kaporit digunakan untuk membasmi karier atau organisme pembawa penyakit udang dengan dosis 20-30 mg/l bahan aktif. Residu kaporit akan hilang

dalam waktu 48 jam. Waktu yang paling tepat untuk melakukan perlakuan kaporit adalah pada waktu sore atau malam hari (Boyd, 1990).

## 2. Saponin

Saponin (*tea seed cake*) merupakan *glycosidase plant* yang mengandung spogenin dan gula, mengandung bahan aktif 5-7%, diambil dari biji teh, memiliki rasa pahit dan jika dilarutkan dalam air akan mengeluarkan busa. Bersifat racun terhadap ikan (dan semua hewan air yang mengandung hemoglobin) tetapi tidak beracun bagi manusia dan krustacea. Beberapa hal yang mempengaruhi daya racun saponin antara lain :

- Lamanya waktu pelarutan, semakin lama daya racunnya semakin berkurang
- Salinitas, semakin tinggi salinitas daya racunnya semakin efektif
- Temperatur dan pH, semakin tinggi temperatur dan pH, semakin meningkat daya racunnya
- Ukuran ikan, semakin kecil ukuran ikan semakin efektif daya racunnya.

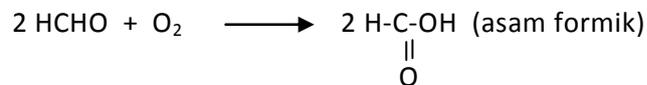
Saponin digunakan untuk membunuh ikan pada persiapan kolam dengan dosis 10-15mg/l dengan cara ditebar langsung ke kolam atau direndam selama 6-8 jam. Kegunaan lainnya sebagai pupuk organik dalam bentuk fermentasi. Efek samping penggunaan saponin antara lain turunnya oksigen terlarut dan udang mengalami stres. Hindari perlakuan saponin jika udang dalam kondisi molting atau lemah.

## 3. Rotenon

Rotenon ( $C_{23}H_{22}O_6$ ) digunakan untuk membasmi ikan liar sebelum penebaran benih ikan di kolam. Rotenon berasal dari akar tumbuh-tumbuhan antara lain *Derris elliptica* dan *Lonchocarpus spp.* Akar tersebut dikeringkan dan dibuat serbuk serta dalam bentuk cairan. Rotenon mempengaruhi respirasi ikan dan sangat beracun bagi ikan dengan konsentrasi yang rendah. Konsentrasi 0,05-2,00 sudah dapat membunuh ikan. Daya racun rotenon dipengaruhi oleh suhu dan derajat keasaman (pH) air. Semakin tinggi suhu perairan, semakin meningkat daya racun rotenon sedangkan pada pH netral dan asam, daya racun rotenon lebih besar dibandingkan pada pH tinggi (basa).

#### 4. Formalin

Formalin merupakan suatu larutan yang berwarna bening beraroma keras dan tidak stabil terdiri dari *formaldehyde* 37% dan *methanol* 10-15%. Formalin akan terdekomposisi jika suhu naik dengan membentuk endapan keruh (*paraformaldehyde*). Sedangkan reaksi dengan oksigen terlarut dalam air adalah sebagai berikut :



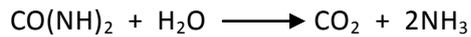
Formalin dapat digunakan untuk membunuh bakteri dan protozoa dengan konsentrasi 25 mg/l serta dapat menurunkan TBC dan TVC. Dampak pemakaian formalin antara lain : DO menjadi rendah, pH turun, dan plankton mengalami kematian (Boyd, 1990). Formalin dapat digunakan untuk membersihkan udang “lumutan” terutama yang terjadi pada udang windu.

#### 7.4. Pupuk

Pupuk baik organik maupun anorganik sangat diperlukan dalam budidaya ikan terutama pada awal siklus budidaya dan saat terjadinya *die off* fitoplankton. Fitoplankton pada awal budidaya sangat diperlukan oleh ikan sebagai pakan alami karena larva ikan belum bisa memanfaatkan pakan dalam bentuk pelet (Adhikari, 2003). Pupuk yang digunakan dalam budidaya ikan meliputi sumber nitrogen, fosfor, dan kalium (nutrien primer). Penggolongan kualitas pupuk didasarkan pada persentase berat nitrogen dalam bentuk N, fosfor dalam bentuk  $\text{P}_2\text{O}_5$ , dan kalium dalam bentuk  $\text{K}_2\text{O}$  (Brunson *et al.*, 1999). Pupuk 20-20-5, berarti dalam pupuk tersebut mengandung 20% nitrogen, 20%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , dan 5%  $\text{K}_2\text{O}$ . Fitoplankton hanya dapat memanfaatkan pupuk nitrogen dalam bentuk ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfor dalam bentuk *ortophosphate* ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), dan kalium dalam bentuk  $\text{K}^+$  (Boyd, 1990). Sebagai contoh pupuk urea yang digunakan akan terhidrolisis menjadi amonium dan *polyphosphate* akan terhidrolisis menjadi *orthophosphate*.

Nutrien primer yang perlu ditambahkan dalam kolam ikan adalah nitrogen dan fosfor. Pupuk nitrogen yang sering digunakan adalah urea (N=45%), *ammonium*

*polyphosphate* (N=12%), *ammonium nitrate* (N=34%), *sodium nitrate* (N=16%), dan *potassium nitrate* (N=13%) (Boyd, 2007). Urea ( $\text{CO}(\text{NH})_2$ ) sering digunakan dalam budidaya perairan. Urea bereaksi dengan air menghasilkan amonia dengan reaksi sebagai berikut :



Untuk menghasilkan 1 mg/l amoniak, maka dibutuhkan :

$$\begin{array}{r} 60 \\ \text{CO}(\text{NH})_2 \\ \times \end{array} = \begin{array}{r} 17 \\ 2\text{NH}_3 \\ 1 \text{ mg/l} \end{array}$$

$$34x = 60 \text{ mg/l}$$

$$x = 60/34 = \mathbf{1,8 \text{ mg/l urea}}$$

amonia yang dihasilkan tersebut yang digunakan oleh fitoplankton sebagai sumber nitrogen.

Pupuk fosfor yang sering digunakan dalam budidaya perairan antara lain : *super phosphate* dan *triple super phosphate*. *Super phosphate* merupakan campuran antara  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  dan  $\text{CaSO}_4$  (gypsum), dengan kandungan  $\text{P}_2\text{O}_5$  sekitar 16-20% dan kelarutan di air mencapai 85%. *Triple super phosphate* (TSP) tidak mengandung gypsum tetapi mempunyai kandungan *phosphate* yang cukup tinggi (44-45%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dengan kelarutan di air mencapai 85% (Boyd, 1990).

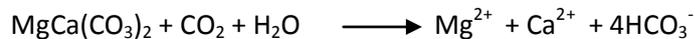
## 7.5. Kapur

### 7.5.1. Tujuan Pengapuran

Tujuan *utama* pengapuran (liming) adalah untuk meningkatkan pH air dan tanah, seperti reaksi yang terjadi pada reaksi berikut ini :



Kapur yang diaplikasikan ke dalam air dan tanah akan mengikat ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) sehingga mengurangi derajat keasaman atau meningkatkan pH air dan tanah. Fungsi yang *kedua* adalah meningkatkan alkalinitas dan *hardness*. Reaksi kapur yang dapat meningkatkan alkalinitas akan terjadi jika terdapat air dan karbondioksida, seperti yang terdapat pada reaksi berikut ini :



Bikarbonat merupakan penyusun utama alkalinitas Milleno, 1996). Semakin banyak kapur yang diaplikasikan maka semakin banyak  $\text{CaCO}_3$  yang dihasilkan sehingga alkalinitas akan meningkat. Bahan kimia lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan alkalinitas adalah sodium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ). Sodium bikarbonat bereaksi lebih cepat di dalam air dibandingkan kapur. Dalam reaksi sodium bikarbonat dengan air tidak melibatkan karbondioksida, seperti yang terdapat pada reaksi berikut ini (Boyd, 1990):



Fungsi yang *ketiga* adalah pengikat fosfor (dalam bentuk fosfat) yang terlarut dalam air. Calcium yang ada pada material kapur akan bereaksi dengan fosfat sehingga membentuk endapan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Selain ketiga fungsi utama tersebut, pengapuran dapat berfungsi sebagai desinfektan, mempercepat dekomposisi bahan organik, serta meningkatkan kalsium yang diperlukan oleh *crustacean* untuk *molting* (Avault, 1996).

### 7.5.2. Jenis Kapur

Jenis-jenis kapur yang digunakan dalam budidaya perairan antara lain (Wurts dan Masser, 2013) :

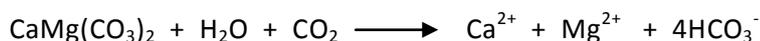
#### 1. Kapur pertanian ( $\text{CaCO}_3$ )

Kapur pertanian (kaptan) dibuat dengan cara menghaluskan (menggiling) batuan kapur ( $\text{CaCO}_3$ ), dengan fungsi utama menaikkan pH, *hardness*, dan alkalinitas sesuai reaksi :



#### 2. Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )

Dolomit dibuat dengan cara menggiling batuan kapur yang mengandung magnesium, dengan fungsi utama untuk meningkatkan alkalinitas dan *hardness*, sesuai reaksi :



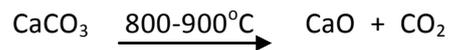
Perlakuan dolomit tidak banyak berpengaruh terhadap pH air.

### 3. Kapur api (*quick lime/burnt lime*) (CaO)

Kapur api (CaO) bersifat panas dan dapat meningkatkan pH secara drastis sehingga tidak dianjurkan untuk digunakan pada saat proses budidaya berlangsung. Kapur api dibuat dengan membakar batu kapur (CaCO<sub>3</sub>) dengan suhu tinggi (800-900°C). Proses pembakaran ini akan menghasilkan CaO dan melepaskan CO<sub>2</sub> ke udara. CaO merupakan jenis kapur aktif. Kegunaan utama kapur api adalah untuk menaikkan pH dan paling efektif jika dibandingkan dengan kapur jenis lain.

### 4. Kapur hidrat (*Hydrated lime*) (Ca(OH)<sub>2</sub>)

Pembuatan Ca(OH)<sub>2</sub> dilakukan dengan membakar batuan kapur (CaCO<sub>3</sub>) dan setelah menyala ditambahkan air ke dalamnya. Proses tersebut berjalan sesuai dengan reaksi :



Fungsi utama kapur hidrat adalah untuk menaikkan pH dan mengikat CO<sub>2</sub> secara efektif.

Masing-masing jenis kapur mempunyai kemampuan menetralsir tingkat keasaman yang berbeda-beda, tergantung "*neutralizing value*" (NV). Kapur pertanian mempunyai NV 100, yang dijadikan standar untuk jenis kapur yang lainnya (Wurts dan Masser, 2013). *Neutralizing value* masing-masing kapur terdapat pada Tabel 13.

Tabel 13. *Neutralizing value* beberapa jenis kapur (Wurts dan Masser, 2013).

Nama umum	Rumus kimia	NV (%)
<i>Basic Slag</i>		55-79
Kaptan	CaCO <sub>3</sub>	85-100
Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	95-109
<i>Slaked</i> atau <i>hydrated lime</i>	Ca(OH) <sub>2</sub>	136
<i>Quick lime</i> atau kapur api	CaO	179

#### 7.5.3. Pengaruh pengapuran terhadap pemupukan

Fitoplankton yang tumbuh dalam kolam budidaya, selain sebagai sumber pakan alami bagi larva ikan, juga berperan dalam menjaga kualitas air terutama

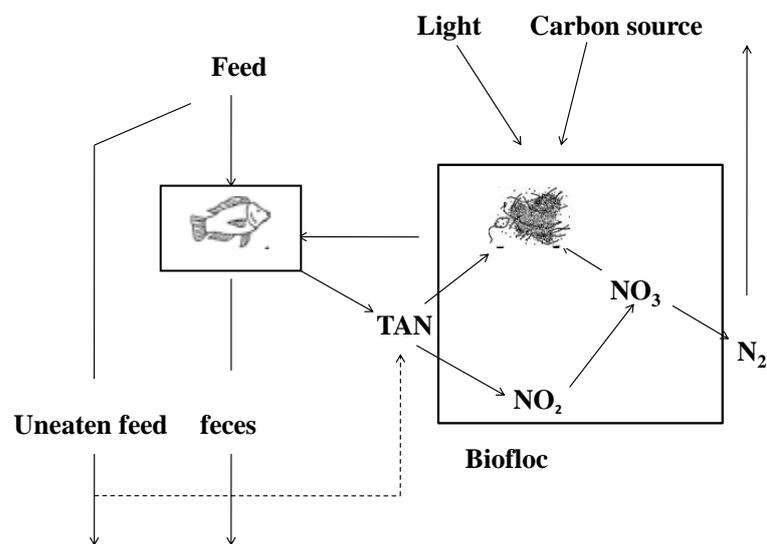
oksigen terlarut dan amonia. . Fitoplankton mampu menyerap senyawa toksik yang ada dalam air seperti nitrogen anorganik terutama dalam bentuk amonia. Fitoplankton hanya mampu memanfaatkan nitrogen dalam bentuk nitrat dan amonium. Pertumbuhan fitoplankton dapat dirangsang dengan pemupukan. Pupuk yang diaplikasikan dalam kolam budidaya harus mengandung tiga unsur penting, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Ketiga unsur tersebut dibutuhkan untuk merangsang pertumbuhan fitoplankton (Boyd, 1990 ; Adhikari, 2003).

Pengapuran mempunyai pengaruh yang cukup besar pada beberapa kondisi kolam, terutama pada kolam dengan pH tanah rendah. Tanah asam dengan kandungan mineral yang rendah menyebabkan fosfor yang ditambahkan melalui pemupukan akan terikat oleh tanah dasar kolam. Pengapuran akan meningkatkan ketersediaan fosfor bagi pertumbuhan fitoplankton sehingga produktivitas kolam meningkat (Wurts dan Masser, 2013).

## VIII. SISTEM HETEROTROF (BIOFLOC) DALAM AKUAKULTUR

### 8.1. Sistem Autotrof dan Heterotrof

Limbah budidaya udang sebagian besar berupa nitrogen anorganik karena kandungan protein pakan yang tinggi. Sumber nitrogen anorganik dalam kolam akuakultur sebagian besar berasal dari sisa pakan, kotoran ikan, dan hasil ekskresi melalui insang (Durborow *et al.*, 1997). Nitrogen anorganik dalam kolam budidaya ikan dalam bentuk *total ammonia nitrogen* (TAN), nitrit, dan nitrat. *Total ammonia nitrogen* dalam kolam akan dimanfaatkan oleh fitoplankton dan bakteri sebagai penyusun protein tubuh serta mengalami nitrifikasi, sedangkan nitrogen bebas dapat mengalami penguapan (Gambar 31).



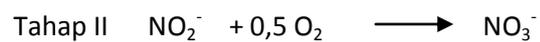
Gambar 31. Siklus nitrogen dalam kolam ikan (Crab *et al.*, 2007)

Sistem autotrof dalam kolam budidaya didominasi oleh alga (fitoplankton) dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi sehingga pertumbuhannya tergantung pada ketersediaan sinar matahari. Fitoplankton mampu hidup dengan baik dan dominan di kolam dengan kandungan bahan organik rendah. Sumber karbon berasal dari karbon anorganik, yaitu CO<sub>2</sub> dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Fitoplankton melakukan fotosintesa

pada siang hari dengan menghasilkan oksigen tetapi pada malam hari hanya melakukan respirasi. Fitoplankton sering mengalami kematian masal akibat tingginya intensitas sinar matahari yang mengakibatkan penurunan oksigen dan kematian ikan secara masal (Boyd, 1990).

Populasi fitoplankton yang terlalu padat akan meningkatkan kandungan oksigen pada siang hari tetapi pada malam hari akan terjadi penurunan oksigen secara drastis (*oxygen depletion*). Fotosintesis selain sebagai sumber oksigen juga menghasilkan bahan organik. Kemampuan fitoplankton dalam menghasilkan bahan organik rata-rata mencapai 4 gC/m<sup>2</sup>/hari meskipun pada budidaya intensif mampu mencapai 10-12 gC/m<sup>2</sup>/hari. Hal inilah yang membatasi pengikatan amoniak dalam kolam budidaya (Avnimelech, 2009).

Organisme autotrof selain fitoplankton yang ada dalam kolam budidaya adalah bakteri nitrifikasi (Ebeling *et al.*, 2006). Nitrifikasi berlangsung dalam dua tahapan, yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit dan oksidasi nitrit menjadi nitrat. sesuai dengan persamaan (Ritmann dan McCarty, 2001) :



Proses tahap pertama dibantu oleh *ammonia oxidizing bacteria* seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus*. Tahap kedua dibantu oleh *nitrite oxidizing bacteria* seperti *Nitrobacter* dan *Nitrospira*. Pertumbuhan bakteri nitrifikasi lebih lambat jika dibandingkan bakteri heterotrof. Bakteri nitrifikasi membutuhkan waktu 12 jam untuk melakukan regenerasi, sedang bakteri heterotrof hanya memerlukan waktu 30 menit (Davies, 2005).

Sistem heterotrof (biofloc) didominasi oleh organisme heterotrof terutama bakteri dalam kolam budidaya. Bakteri menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon. Sinar matahari tidak memiliki peran yang dominan dalam budidaya dengan sistem heterotrof dibandingkan dengan sistem autotrof sehingga aktivitas bakteri dapat berlangsung dengan baik selama 24 jam. Meskipun demikian pertumbuhan udang putih yang dipelihara dengan sistem biofloc yang mendapatkan cahaya lebih cepat dibandingkan tanpa cahaya (Baloi *et al.*, 2012). Perkembangan

bakteri tergantung pada sumber karbon organik yang tersedia serta suplai oksigen (Avnimelech, 2009). Pertumbuhan bakteri heterotrof dirangsang melalui penambahan karbon organik untuk meningkatkan rasio C:N media. Penanganan amonia dalam kolam budidaya dengan bakteri heterotrof merupakan metode yang paling cepat dan efektif (Ebeling *et al.*, 2006)

## **8.2. Nitrogen Anorganik**

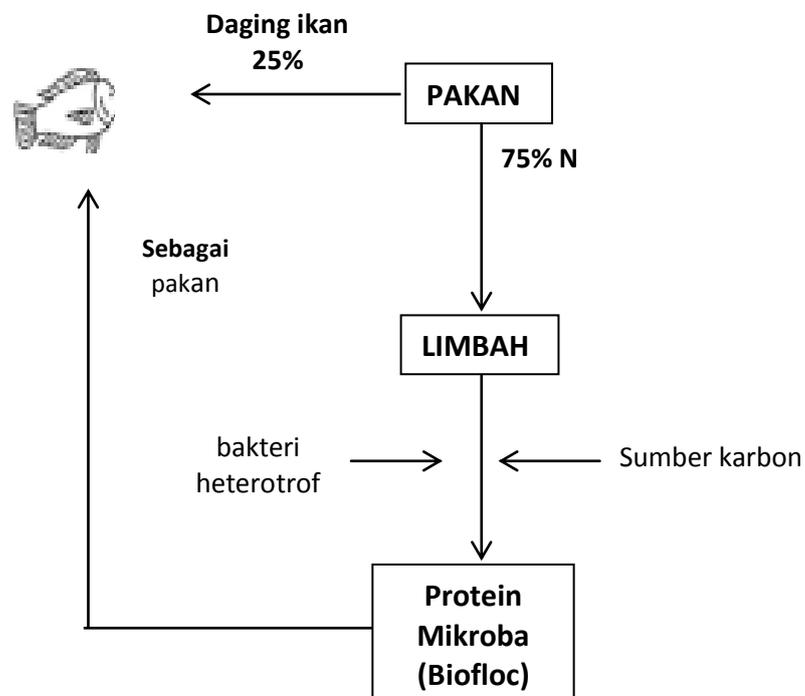
Nitrogen yang berbahaya bagi udang adalah dalam bentuk nitrogen anorganik (*mobilized nitrogen*) antara lain amonia dan nitrit. Amonia terdiri dari dua bentuk yaitu amonia terionisasi ( $\text{NH}_4^+$ ) dan tidak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ). Jumlah amonia terionisasi dan tidak terionisasi dalam air sering disebut dengan *total ammonia nitrogen* (TAN). Amonia terionisasi tidak bersifat toksik bagi ikan sedangkan amonia tidak terionisasi bersifat toksik. Keberadaan keduanya dipengaruhi oleh suhu dan pH. Semakin tinggi suhu dan pH semakin besar persentase kandungan amonia tidak terionisasi (Boyd, 1990). Protein sebagai penyusun utama pakan udang berpotensi menghasilkan amonia dalam jumlah besar. Sumber utama amonia pada kolam ikan adalah sisa pakan, kotoran udang dan ekskresi (Duborow *et al.*, 1997).

Kadar amonia yang tinggi di kolam dapat menyebabkan: meningkatnya kadar amonia dalam darah, meningkatnya konsumsi oksigen, terjadi kerusakan insang, menurunnya kemampuan darah dalam transportasi oksigen, dan ikan mudah terserang penyakit dan menghambat pertumbuhan. Toksisitas amoniak akan menurun jika kadar  $\text{CO}_2$  dalam air meningkat, karena peningkatan  $\text{CO}_2$  akan menurunkan pH sehingga menurunkan kadar amonia tidak terionisasi ( $\text{NH}_3$ ) (Boyd, 1990). Selain amonia, bentuk nitrogen anorganik dalam kolam ikan adalah nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrit bersifat toksik bagi ikan, sementara nitrat tidak bersifat toksik. Nitrat merupakan sumber nitrogen yang dapat diserap oleh fitoplankton maupun bakteri.

## **8.3. Konsep Biofloc**

Konsep dasar biofloc adalah mengubah senyawa organik dan anorganik yang mengandung senyawa karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sedikit

fosfor (P) menjadi masa *sludge* berupa biofloc dengan menggunakan bakteri pembentuk floc (*floc forming bacteria*) yang mensintesis biopolymer sebagai ikatan biofloc. Tujuan utama teknologi biofloc dalam budidaya perairan adalah memanfaatkan limbah nitrogen anorganik dalam kolam budidaya menjadi nitrogen organik yang tidak bersifat toksik. (Gambar 32). Sistem biofloc (*heterotrophic system*) dalam budidaya perairan menekankan pada penumbuhan bakteri pada kolam untuk menggantikan komunitas autotrofik yang didominasi oleh fitoplankton (McIntosh, 2000).



Gambar 32. Konsep biofloc

Dominasi bakteri dalam suatu sistem dipengaruhi oleh rasio C:N media. Biofloc akan terbentuk jika rasio C:N dalam kolam lebih dari 15 (Avnimelech, 2009). Dalam sistem biofloc amonia dan nitrit dapat ditekan karena akan diimobilisasi menjadi nitrogen organik dalam bentuk protein sebagai biomasa bakteri. Pakan yang diberikan tidak semuanya diasimilasi menjadi daging ikan. Menurut Avnimelech dan Ritvo (2003), hanya 25% nitrogen dari pakan yang dapat diasimilasi menjadi daging, sedangkan 75% terbuang ke lingkungan. Nitrogen anorganik yang terakumulasi dalam kolam budidaya udang berpotensi menjadi toksik bagi udang dalam bentuk amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan nitrit

(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Dalam sistem autotrof, nitrogen anorganik dalam bentuk NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dimanfaatkan oleh fitoplankton untuk pertumbuhan. Namun, kemampuan fitoplankton dalam menyerap nitrogen anorganik tersebut sangat terbatas jika dibandingkan dengan limbah yang dikeluarkan. Menurut Avnimelech (2009), kemampuan fitoplankton dalam mengasimilasi karbon berkisar 2-5gC/m<sup>2</sup>. Jika rasio C:N untuk pertumbuhan fitoplankton 5, maka kapasitas mengikat nitrogen sekitar 0,4-1 gN/m<sup>2</sup>, sehingga kapasitas mengontrol nitrogen anorganik dalam kolam hanya 0,5-1,2 kg udang/m<sup>2</sup> atau setara dengan 5.000-12.000 kg udang per hektar, sedangkan sistem heterotrof, produktivitasnya tergantung dari sumber karbon yang ada dalam kolam.

#### **8.4. Bakteri dalam Sistem Biofloc**

Penggunaan bakteri dalam akuakultur telah banyak dilakukan terutama dalam bentuk probiotik, baik untuk manajemen kualitas air maupun sebagai campuran pakan. Beberapa penelitian tentang probiotik telah banyak dilakukan. Probiotik (*Bacillus*) dapat mengontrol *luminous Vibrio* dan mampu meningkatkan kelulushidupan udang (Moriarty, 1999). Far *et al.* (2009) membuktikan bahwa *Bacillus subtilis* mampu menurunkan *Vibrio* dalam pencernaan udang serta meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dan biomasa.

Pertumbuhan bakteri heterotrof dalam sistem biofloc dipengaruhi oleh karbon organik yang terlarut dalam air. Pertumbuhan bakteri heterotrof dapat dirangsang dengan meningkatkan rasio C:N melalui penambahan karbohidrat atau penurunan kandungan protein pakan. Material karbon ini akan mengikat nitrogen anorganik yang digunakan untuk pertumbuhan sel bakteri (Hargreaves, 2013).

Bakteri memanfaatkan karbon organik sebagai sumber energi untuk melangsungkan proses biologis dalam lingkungan budidaya. Bakteri dipacu pertumbuhannya sedangkan fitoplankton ditekan. Karbon organik dimanfaatkan oleh bakteri melalui proses katabolisme dan anabolisme (Davies, 2005). Pada proses katabolisme, senyawa karbon dirombak menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan oksigen menghasilkan energi dan karbondioksida sebagai hasil sampingan. Proses ini sering disebut dengan respirasi. Sedangkan pada proses anabolisme terjadi

penggabungan molekul-molekul kecil menjadi molekul yang lebih besar dengan memanfaatkan energi dari proses katabolisme yang disebut dengan proses pertumbuhan.

### **8.5. Biofloc dan Manajemen Kualitas Air**

Biofloc mempunyai potensi yang cukup besar untuk dikembangkan dalam budidaya ikan karena mempunyai banyak manfaat (Gambar 32). Salah satu manfaat sistem biofloc adalah adanya perbaikan beberapa variabel kualitas air, antara lain amonia, oksigen terlarut, alkalinitas maupun pH air.

#### **8.5.1. Amonia**

Nitrogen anorganik dalam kolam terutama berasal dari hasil ekskresi, feses, sisa pakan serta tanaman/ikan mati yang mengalami mineralisasi. Limbah budidaya yang mengandung nitrogen anorganik sangat besar (75% dari pakan) merupakan penyebab utama dalam penurunan kualitas air budidaya udang. Nitrogen anorganik dalam air berada dalam bentuk *total ammonia nitrogen* (TAN), nitrit, dan nitrat. TAN dalam bentuk  $\text{NH}_3$  dan nitrit berbahaya bagi udang, sedangkan dalam bentuk nitrat tidak berbahaya. Penambahan sumber karbon akan mengikat nitrogen anorganik menjadi senyawa organik yang mengandung protein tinggi. Rasio C:N yang tinggi (>15) akan merangsang bakteri heterotrof untuk mengasimilasi ammonium nitrogen dari air menjadi biomasa sel bakteri (Davies, 2005, Ebeling *et al.*, 2006).

Penambahan karbon dalam media budidaya merupakan cara yang paling efektif menurunkan nitrogen anorganik (Avnimelech, 2009). Penambahan karbon organik pada kolam akan merangsang pertumbuhan bakteri heterotrof. Bakteri heterotrof membutuhkan sumber nitrogen anorganik untuk pertumbuhan dan pembelahan sel. Nitrogen anorganik yang dibutuhkan oleh bakteri terutama dalam bentuk amonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Penambahan sumber karbon terbukti mampu menurunkan TAN dalam beberapa jam (Avnimelech, 2009) serta mampu menekan TAN dalam media kultur meskipun tanpa melakukan ganti air seperti yang terdapat pada Gambar 31 (Supono *et al.*, 2014). Avnimelech (2009) membuktikan bahwa penambahan sumber karbon dapat menurunkan kandungan TAN dari 7 mg/l menjadi 1 mg/l dalam waktu 30 menit.

Bakteri heterotrof mengalami pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan bakteri autotrof (nitrifier). Bakteri heterotrof membutuhkan waktu 30 menit untuk tumbuh, sedangkan bakteri nitrifikasi membutuhkan waktu 12 jam (Davies, 2005).

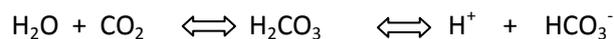
### 8.5.2. Oksigen terlarut

Oksigen terlarut pada sistem heterotrof relatif stabil, baik pada waktu siang maupun malam. Pengguna oksigen dalam media budidaya didominasi oleh udang/ikan dan bakteri, sedangkan pada sistem autotrofik pada waktu malam hari selain ikan dan bakteri, fitoplankton merupakan pengguna oksigen yang sangat besar, apalagi jika kepadatan fitoplankton tinggi. Namun demikian, aplikasi teknologi biofloc ini memerlukan ketersediaan *aerator/paddle wheel* secara kontinyu untuk menjaga ketersediaan oksigen terlarut dan menjaga pergerakan air dalam kolam untuk menghindari pengendapan biofloc. Oksigen terlarut diperlukan oleh bakteri heterotrof karena bersifat aerob. Oksigen terlarut digunakan untuk menguraikan bahan organik, dimana 2,67 gram O<sub>2</sub> diperlukan untuk menguraikan 1 gram karbon sesuai reaksi (Avnimelech, 2009) :



### 8.5.3. Alkalinitas dan pH

Karbondioksida dalam kolam melimpah karena semua organisme baik ikan maupun bakteri memproduksinya sementara pengguna karbondioksida terbatas. Hal ini berpengaruh terhadap alkalinitas maupun pH air. Karbondioksida yang terbentuk akan bereaksi dengan air dan selanjutnya membentuk bikarbonat (Wurts dan Durborow, 1992). Bikarbonat merupakan penyusun utama alkalinitas air seperti yang terdapat pada reaksi berikut ini :



Semakin banyak karbondioksida yang dihasilkan semakin tinggi bikarbonat yang terbentuk. Berdasarkan reaksi tersebut, pH air dalam sistem biofloc tidak terlalu tinggi dibandingkan sistem autotrof karena reaksi asam yang dihasilkan serta kemampuan penyangga air (Avnimelech, 2009).

## IX. PROSEDUR PENGUKURAN SAMPEL

### 9.1. Kandungan Karbon Organik (APHA, 1992).

- Pembuatan reagen larutan kalium dikromat 0,5M :Menimbang 36,77 gr  $K_2Cr_2O_7$ , dimasukkan dalam labu erlenmeyer 250 ml. diencerkan sampai tanda batas
- Preparasi larutan standar : :membuat larutan 1.000 ppm dengan menimbang 0,2375 g sukrosa dalam labu 100 ml, diencerkan sampai batas.
- Dari larutan standar dibuat larutan dengan konsentrasi karbon 400 mg/l, 200g/l, 100 mg/l, 50 mg/l, dan 25 mg/l
- Masing-masing larutan standar (10 ml) ditambah dengan 1 ml  $K_2Cr_2O_7$ , dikocok dan didiamkan selama 10 menit.
- ditambah dengan 2 ml  $H_2SO_4$  pekat (95-98%), dikocok dan didiamkan selama 15 menit
- Larutan ditambah dengan 7 ml akuades, dikocok dan didiamkan selama 10 menit
- Larutan diukur absorbannya dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm.
- Dari data tersebut dibuat grafik standar absorban dan konsentrasi karbon
- Pengukuran sampel dilakukan sesuai dengan prosedur di atas

### 9.2. Total Ammonia Nitrogen/TAN (Phenate)

1. Membuat grafik standar TAN
  - a. Menyiapkan larutan konsentrasi TAN 0; 0,05; 0,1; dan 0,2 mg/l.
  - b. Sebanyak 10 ml larutan ditambah dengan 0,05 ml larutan  $MnSO_4$
  - c. Masing-masing larutan ditambah dengan 0,5 hypochlorous
  - d. Kemudian ditambah dengan 0,6 ml larutan phenate
  - e. Setelah satu jam diamati dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm
  - f. Hasil pengukuran absorban masing-masing konsentrasi TAN dibuat grafik standar

## 2. Pengukuran sampel air

- a. Sampel air sebanyak 10 ml ditambah dengan 0,05 ml larutan  $\text{MnSO}_4$
- b. Sampel dikocok secara merata, kemudian ditambahkan 0,5 ml hypochlorous
- c. Sampel ditambahkan dengan segera 0,6 ml larutan phenate
- d. Setelah satu jam, diamati dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm
- e. Membandingkan nilai absorbansi yang diperoleh dengan grafik standar

## 3. Reagent

Ammonia- free water, Hypochlorous acid (clorax), Larutan  $\text{MnSO}_4$  (larutan 50 ml  $\text{MnSO}_4$  dalam 100 ml air), Larutan phenate (2,5 g NaOH dan 10 g phenol dalam 100 ml air)

### 9.3. Diatom Epipellic

Pengambilan sampel diatom epipellic dilakukan dengan metode "*lens tissue trapping technique*". Teknik pengambilan sampel ini mampu menangkap lebih dari 70% diatom epipellic yang ada di sedimen (Round, 1982). Sampel tanah dari permukaan sedimen dasar tambak diambil dengan menggunakan pipa pralon dengan diameter 4 inchi, kemudian dipindahkan ke dalam cawan petri dengan ketebalan 1-2cm. Di atas sampel tanah pada cawan petri diletakkan 3-4 kertas lensa (2x2 cm), lalu disimpan di tempat gelap selama satu malam. Keesokan harinya diletakkan pada tempat yang banyak terkena sinar matahari sampai siang hari. Kertas lensa diambil dan dipindahkan ke dalam botol sampel yang berisi 10 cc formalin 4%, kemudian dikocok, diamati jumlah sel diatom epipellic pada sedgwick rafter di bawah mikroskop binokuler. Penghitungan kelimpahan diatom epipellic menggunakan prosedur penghitungan fitoplankton.

#### 9.4. Klorofil *a* Sedimen

Sampel sedimen (*top soil*) diambil  $\pm 5$  g, kemudian dilarutkan dengan 10 ml aceton 90%, dihomogenkan dengan menggunakan blender selama 2 menit dalam ruangan yang sedikit cahaya. Sedimen dan larutan aceton disimpan selama satu malam pada suhu 4°C. Suspensi diambil, dimasukkan dalam tabung reaksi, disentrifuse dengan kecepatan rendah selama 5 menit, kemudian dilihat kerapatan optiknya pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 665 nm. Penghitungan kandungan klorofil sedimen dilakukan dengan menggunakan rumus (Vollenweider *et al.*, 1974) :

$$\mu\text{g chlorofil } a \text{ per sampel} = 11,9 \cdot D_{665} \cdot v/l$$

$D_{665}$  = kerapatan optik pada panjang gelombang 665 nm

$V$  = volume akhir aceton (ml)

$l$  = panjang sel spektrofotometer (1 cm)

#### 9.5. Bahan organik sedimen

Sampel sedimen diambil dari tambak kemudian dikeringkan selama 12 jam dengan oven pada suhu 60°C. Sampel diambil dari tempat oven dan ditimbang sebanyak 10 gram. Berat sampel sedimen yang didapatkan ini sebagai berat awal ( $W_o$ ). Sampel yang telah ditimbang ini selanjutnya diproses dalam tanur pengabuan (*muffel furnace*) dengan temperatur 550°C selama 4 jam. Setelah 4 jam sedimen yang ada dalam *muffel furnace* diambil dan ditimbang ( $W_t$ ). Bahan organik yang hilang selama pengabuan (*loss on ignition*) diketahui sebagai bahan organik total yang dinyatakan dalam persen dengan menggunakan persamaan Allen *et al.* (1976), yaitu sebagai berikut :

$$Li = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100\%$$

$Li$  = loss on ignition (%)

$W_o$  = berat awal (gram)

$W_t$  = berat akhir (gram)

### 9.6. Muatan Padatan Tersuspensi

Pengukuran muatan padatan tersuspensi (MPT) dilakukan dengan prosedur sebagai berikut : air sampel (100ml) diambil dari tambak kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring. Sampel dipanaskan pada suhu 105° C selama 1-2 jam. Hasil pemanasan sampel ditimbang dan dimasukkan dalam perhitungan pada rumus MPT menurut APHA (1992) :

$$\text{MPT} = \frac{(a-b) \times 100}{c}$$

a = berat filter dan residu sesudah pemanasan

b = berat kering filter

c = volume sampel (ml)

### 9.7. Alkalinitas

Sebanyak 50 ml sampel air tambak diambil, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml dan ditambahkan dua tetes phenolptalein. Jika warna bening, berarti  $\text{CO}_3^{2-} = 0$ , Jika warna sampel merah muda, dititrasi dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02N sampai warna bening. Sampel ditambahkan dua tetes indikator BCG-MR, kemudian dititrasi dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02N sampai warna biru hilang. Total alkalinitas dihitung dengan menggunakan rumus menurut APHA (1992):

$$\text{Total alkalinitas (mg CaCO}_3\text{/L)} = A \times N \times 10$$

A = volume total  $\text{H}_2\text{SO}_4$

N = Normalitas  $\text{H}_2\text{SO}_4$

### 9.8. Nitrat

Sampel air sebanyak 10 ml disaring dengan kertas saring, kemudian ditambah bufer nitrat 0,4 ml. Sampel air ditambah dengan larutan pereduksi sebanyak 0,2 ml (larutan hidrazin sulfat dan kupri sulfat dengan perbandingan 1:1), kemudian dibiarkan selama satu malam. Keesokan harinya larutan ditambah dengan larutan acetone 0,4ml kemudian dicampur dengan sempurna dan ditambahkan larutan sulfanilamide 0,2ml kemudian dicampur, setelah itu larutan sampel ditambahkan larutan naphthylenediamine 0,2ml kemudian dicampur. Setelah

15 menit, dilihat hasilnya pada pembacaan spektrofotometer dengan panjang gelombang 543 nm (APHA, 1992).

### 9.9. Fosfat

Sampel air sebanyak 10 ml disaring kemudian memasukkannya ke dalam erlenmeyer. Sampel air ditambahkan *combined reagent* masing-masing 1,6 ml, yang terdiri dari campuran : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5N (10ml), potasium antymonil tartrat/PAT (1ml), Amonium molibdat (3ml), dan ascorbic acid (6 ml), kemudian larutan didiamkan selama 30 menit. Setelah itu dilakukan pengamatan kerapatan optik pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 880nm (APHA, 1992).

### 9.10. BOD<sub>5</sub>

Sebanyak 1-2 liter diambil dari dasar tambak. Jika air terlalu keruh (misalnya karena plankton), dilakukan pengenceran. Kandungan O<sub>2</sub> terlarut sampel tersebut ditingkatkan dengan aerasi menggunakan aerator selama lebih kurang 5 menit. Air sampel tersebut dipindahkan ke dalam botol BOD gelap dan terang sampai penuh. Air dalam botol terang segera diukur kandungan oksigen terlarutnya (DO<sub>1</sub>). Air dalam botol gelap diinkubasi dalam BOD-inkubator pada suhu 20°C. Setelah lima hari, botol gelap diukur kandung kandungan oksigen terlarutnya (DO<sub>5</sub>). Nilai BOD dapat diperoleh dengan menggunakan perhitungan (Tebbut, 1992) :

$$\text{BOD}_5 \text{ (mg/l)} = (\text{DO}_1 - \text{DO}_5) \times \text{faktor pengenceran}$$

### 9.11. Kelimpahan fitoplankton

Sampel air diambil dengan menggunakan botol sampel, kemudian diawetkan dalam larutan formalin 4%. Kelimpahan fitoplankton (sel/l) dihitung dengan menggunakan sedgwick-rafter di bawah mikroskop, dengan rumus dari APHA (1976), yaitu :

$$N = \frac{100 (P \times V)}{0,25 \pi W \text{ (liter)}}$$

N = Jumlah fitoplankton per liter

P = Jumlah fitoplankton yang tercacah  
V = Volume sampel plankton yang tersaring  
W = Volume sampel air yang disaring (liter)

### 9.12. Keragaman dan keseragaman jenis

Perhitungan keragaman jenis dan keseragaman jenis dilakukan dengan menggunakan formulasi Shannon-Wiever (Poole, 1974), yaitu :

$$H' = - \sum_{n=1}^s p_i \ln p_i$$

H' = Indeks keragaman jenis  
s = banyaknya jenis  
p<sub>i</sub> = n<sub>i</sub> / N  
n<sub>i</sub> = Jumlah individu jenis ke i  
N = Jumlah total individu

Sedangkan untuk menghitung keseragaman jenis adalah :

$$E = H' / H' \text{ maks}$$

Dimana, E = Keseragaman jenis  
H' maks = ln S  
S = jumlah jenis

### 9.13. Klorofil *a* air

Sampel air tambak sebanyak 100 ml disaring dengan menggunakan filter milipore dengan ukuran pori 0,45µg/l. Untuk memperlancar penyaringan digunakan pompa hisap dengan tekanan hisap tidak lebih dari 50 cm hg. Air sampel ditambah beberapa tetes MgCO<sub>3</sub> guna mengawetkan klorofil *a*. Klorofil *a* yang tersaring dan kertas saring dilarutkan dalam acetone 90% sebanyak 10 ml, kemudian dimasukkan ke dalam lemari pendingin selama 20 jam. Larutan sampel disentrifuse selama 30 menit dengan kecepatan 4.000 rpm, larutan yang dihasilkan dipindahkan ke dalam tabung spektrofotometer untuk dianalisis kerapatan optiknya (*optical density*) dengan panjang gelombang 750, 664, 647, dan 630 nm. Sisa acetone dari tabung

reaksi diambil dan diukur volumenya (v). Kandungan klorofil *a* dihitung dengan menggunakan rumus (APHA, 1992) :

$$C = \frac{(Ca) \times (v)}{V}$$

C = konsentrasi klorofil *a* (µg/l)

Ca = konsentrasi klorofil *a* dari koreksi optik

$$= 11,85(D664-D750) - 1,54(D647-D750) - 0,08(D630-D750)$$

v = volume akhir ekstrak (ml)

V = volume sampel (ml)

#### **9.14. pH Tanah**

Sampel tanah (kedalaman 0-5 cm) dikeringkan di udara terbuka atau di oven dengan suhu 60°C , kemudian digerus sampai halus dan disaring dengan menggunakan ayakan ukuran 60 mesh (0,85 mm). Sebanyak 10 g sampel dimasukkan ke dalam beaker glass 100 ml atau erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan 10 ml aquades. Larutan sampel tanah disentrifuse selama 20 menit, kemudian diukur dengan menggunakan pH meter (Boyd dan Queiroz, 2014)..

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, S. 2003. Fertilization, Soil and Water Quality Management in Small-Scale Ponds. *Aquaculture Asia*. 7 (4) : 6-8.
- Affandi, R. dan Tang, U. M.. 2002. *Fisiologi Hewan Air*. Unri Press. Pekanbaru.
- Almeida, S.F.P. 2001. Use of Diatom for Freshwater Quality Evaluation in Portugal. *Limnetica*, 20(2) : 205-213.
- Anderson, D.P. 1974. *Fish Immunology*. Publications. Inc. Ltd. 218 hal.
- Anggoro, S. dan Muryati. 2006. Osmotic respons of tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fab.) juvenile and adult at various level of molting stages and salinity. . *Buletin Penelitian dan Pengembangan Industri*, 1 (2) : 59-63.
- APHA. 1992. *Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 16<sup>th</sup> Edition. American Public Health Association, Washington DC. 76 pages
- Austin, B. 1999. The effects of pollution on fish health. *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement*: 2348-2428
- Avault, J. W. 1996. *Fundamental of Aquaculture, A Step by Step Guide to Commercial aquaculture*. AVA Publishing Company Inc. Louisiana, USA.
- Avnimelech, Y. and G. Ritvo. 2003. Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*, 220 : 549–567.
- Avnimelech, Y. 2009. *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. The World Aquaculture Society, Baton Rounge, Louisiana, United State, 182 hal.
- Baloi, M., R. Arantes, R. Schweitzer, C. Magnotti, and L. Vinatea. 2013. Performance of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. *Aquacultural Engineering*, 52 : 39–44
- Basmi, J. 1999. *Planktonologi : Chrysophyta-Diatom Penuntun Identifikasi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Basmi, J. 2000. *Planktonologi : Plankton sebagai Bioindikator Kualitas Perairan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Bhatnagar, A. dan P. Devi. 2013. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. *International Journal of Environmental Sciences* 3 (6) :1980-2009.

- Blackburn, T.H., 1987. Role and impact of anaerobic microbial processes in aquatic systems. In: D.J.W. Moriarty and R.S.V. Pullin (Editors), *Detritus and Microbial Ecology in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 14*, International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, pp. 32–53.
- Bovendeur, J., E.H. Eding, dan A.M Henken (1987). Design and performance of a water recirculation system for the high density of the African catfish. *Aquaculturer*, 63 : 329-353.
- Boyd, C.E dan Lichtkoppler, F.1979. Water Quality Management in Fish Ponds. Research and Development Series No. 22, International Centre for Aquaculture (J.C.A.A) Experimental Station Auburn University, Alabama, pp 45-47.
- Boyd, C. E. and T. Ahmad. 1987. Evaluation of Aerators for Channel Catfish Farming. *Alabama Agricultural Experiment Station Bulletin No. 584*, Auburn University, Alabama. 52 hal.
- Boyd, C.E. .1989. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Department of Fisheries and Allied Aquacultures. Auburn University, Alabama, USA
- Boyd, C.E. 1990. *Water Quality in Pond for Aquaculture*. Department of Fisheries and Allied Aquacultures. Auburn University, Alabama, USA, 482 hal.
- Boyd, C.E., 1995. *Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. Chapman and Hall, New York, New York, 348 hal.
- Boyd, C.E. dan P. Munsiri. 1996. Phosphorus Adsorption Capacity and Availability of Added Phosphorus in Soils from Aquaculture Areas in Thailand. *J. World Aquacult. Soc.*, 27 : 160-167.
- Boyd, C.E. 2002. Understanding Pond pH. *Global Aquaculture Advocate*. June.
- Boyd, C.E., Wood, C.W., dan Thunjai T. 2002. Aquaculture Pond Bottom Soil Quality Management. *Pond Dynamic/ Aquaculture Collaborative Research Support Programe*, Oregon State university, Corvallis, Oregon.
- Boyd, C.E.2003. Organic Matter in Pond Bottom Sedimen. *Global Aquaculture Advocate*. April.
- Boyd, C.E. 2004. Secchi Disk Visibility : Correct Measurement, Interpretation. *Global Aquaculture Advocate*. February 2004.
- Boyd, C.E. 2007. Nitrification Important Process in Aquaculture. *Global Aquaculture Advocate*, May/June : 64-66.

- Boyd, C.E. 2009. Phytoplankton in Aquaculture Ponds. *Global Aquaculture Advocate*, January/February : 65-66.
- Boyd, C.E. dan J.F. Queiroz. 2014. The Role and Management of Bottom Soil in Aquaculture Ponds. *Indofish International*, 2 :22-28.
- Brunson, M.W., C. G Lutz and R. M. Durborow. 1994. Algae Blooms in Commercial Fish Production *SRAC Publication* No. 466. 4 hal
- Brunson, M.W., N. Stone, and J. Hargreaves. 1999. Fertilization on Fish Ponds. *SRAC Publication* No 471 : 4 hal.
- Chamberlin, G. 1988. Rethinking Shrimp Pond Management. *Texas Agr. Ext. Ser., Coastal aquaculture Vol 2*. 19 pp.
- Chin, T.S. dan J.C. Chen. 1987. Acute Toxicity of Ammonia to Larvae of the Tiger Prawn, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 66 : 247-253
- Chien, Y.H. 1992. Water quality requirements and management for marine shrimp culture. In : Wyban, J. (Ed). *Proceeding of the special session on shrimp farming*. World Aquaculture Society, Baton Rounge, L.A.,USA p :144-156.
- Cole B.A dan C.E. Boyd. 1986. Feeding rate, Water Quality, and Channel catfish Production in Ponds. *Prog. Fish. Cult.*, 81 : 25-29.
- Colt, J. 1984. Computation of Dissolved Gas Concentration in Water as Funtions of Temperature, Salinity, and Presure. *Amer. Fish. Soc. Spec. Pub. No. 14*. 154 pp.
- Crab, R., Y. Avnimelech, T. Defoirdt, P. Bossier , and Verstraete. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270 : 1–14.
- Davies P.S. 2005. *The Biologlgal Basis of Waste Water Treatment*. Strathkelvin Instrument Ltd. 19 hal.
- Davis, D. Allen, Samocha T.M., Boyd C.E. 2004. Acclimating Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to Inland, Low-Salinity Waters. *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication* No. 2601, June. USA
- Davis D.A., E. Amaya, J. Venero, O. Zelaya and D.B. Rouse. 2006. A Case Study on Feed Management to Improving Production and Economic Returns for The Semi Intensive Pond Production Of *Litopenaeus vannamei*. In Elizabeth L., Marie D.R., Salazar M.T., Lopez M.G.N. (eds.) *Advances en Nutrition Acuicola VIII* , Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Mexico. P 282-302.

- Duraiappah, A.K., A. Israngkura, dan S. Sae-Hae. 2000. Sustainable Shrimp Farming : estimations of a Survival Rate. CREED Working Paper No. 31. 21 hal.
- Durborow, R.M., D.M. Crosby, dan M.W. Brunson. 1997. Nitrite in Fish Pond. *SRAC Publication* No. 462. 4 hal.
- Ebeling, J. M., M. B. Timmons, and J.J. Bisogni. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257 : 346–358.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta. 257 hal.
- Ekasari, J., R. Crab, and W. Verstraete. 2010. Primary Nutritional Content of Bioflocs Cultured with Different Organic carbon Sources and Salinity. *HAYATI Journal of Biosciences*, 17 ( 3) : 125-130.
- Eyre, B.D. dan Ferguson, A.J.P. 2002. Comparison of Carbon Production and Decomposition, Benthic Nutrient Fluxes and Denitrification an Seagrass, Phytoplankton, Benthic Microalgae and Macroalgae Dominated Warm Temperate Australian Lagoons. *Marine Ecology Progress Series*, 229:43-59.
- Fast, A. W., K. E. Carpenter, V.J. Estilo, dan H.J. Gonzales. 1988. Effects Water Depth and Artificial Mixing on Dynamics of Philippines Brackishwater Shrimps Ponds. *Aquacul. Eng.*, 7 : 249-361.
- Ghosal, S. Rogers, M. and Wray, A. 2000. Turbulent Life of Phytoplankton. *Proceeding of The Summer Program 2000, Centre for Turbulence Research*, pp. 1-45.
- Goddard, S. 1996. *Feed Management in Intensive Aquaculture*, Springer, US. 194 hal.
- Hagopian, D.S. dan Riley, J.G. A closer look at the bacteriology of nitrification. *Aquacultural Engeenering*, 18 : 223-244
- Hargreaves, J. A. 1999. Control of Clay Turbidity in Ponds. *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC)*, Publication No.460. May.
- Hargreaves, J.A. dan C. S. Tucker. 2004. Managing Ammonia in Fish Ponds. *SRAC Publication* No. 4603. 8 hal.
- Hasan B.M.A., B. Guha, and S. Datta. 2012. Optimization of Feeding Efficiency for Cost Effective Production of *Penaeus monodon* Fabricius in Semi-Intensive Pond Culture System. *Aquaculture research & development*, 3 (6) : 1-7.

- Howerton, R. 2001. Best Management Practices for Hawaiian Aquaculture. *Centre for Tropical and Subtropical Aquaculture*, Publication No. 148.
- Jackson, C.J. and Wang, Y.G. 1998. Modelling Growth Rate of *Penaeus monodon* Fabricius in Intensive Managed Pond : Effect of Temperature, Pond Age, and Stocking Density. *Aquaculture Research*, 29 :27-36.
- Kelly, A.N. 1997. Paleolimnological Analysis of Sediments from Killiarney Lake, Manitoba. *Thesis*. Department of Botany University of manitoba Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Liboriussen L. and Jeppensen E. 2003. Temporal Dynamic in Epipellic, Pelagic and Epiphytic Algal Production in a Clear and a Turbid Shallow lake. *Fresh Water Biology*, 48 (3) : 418-431
- Lysakova, M., Kitner, M., and Poulickova A. 2007. The Epipellic Algae of Fishpond of Central and Northern Moravia (The Czech Republic). *Fottea, Olomouc*, 7(1): 69-75.
- Masuda, K. dan C.E. Boyd, 1994. Phosphorus fractions in soil and water of quaculture ponds built on clayey Ultisols at Auburn, Alabama. *J. World Aquacult. Soc.*, 25:379–395.
- McCarty, D.E. 1988. Essentials of Soil Mechanics and Foundation. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 730 hal.
- McComas, S. 2003. *Lake and Pond Management, Guide Book*. Lewis Publishers
- McIntosh, R.P. 2000. Changing paradigms in shrimp farming. *The Advocate*, April : 44-50.
- Milleno, F.J. 1996. *Chemical Oceanography*. CRC. Boca Raton, FL. 469 hal.
- Moriarty D.J.W. 1999. Disease Control in Shrimp Aquaculture with Probiotic Bacteria. *Proceeding of 8<sup>th</sup> International Symposium on Microbial Ecology*. Bell C.R, Brylinsky M., Johnson-Green P. (Eds) Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada, pp 237-243.
- Picinska-Faltynowicz, J. 2007. Ecological Status of The River Nysa Luzycka (Lausitzer Neisse) Assessed by Epilithic Diatoms. *Proceeding of The 1st Central European Diatom meeting. Berlin*. Page : 129-134.
- Primavera, J.H. 1991. Intensive Prawn in The Philippines : Ecological, Social and Ecnomic Implication. *Ambio*. 20 : 28-33.

- Rittmann, B.E. dan P.L. McCarty. 2001. *Environmental biotechnology – principles and application*, McGraw Hill International Edition, Singapore, 754 hal.
- Rodgers, J.H. 2008. Algal Toxins in Pond Aquaculture. *SRAC Publication* No. 4605. 8 hal
- Round, F.E. 1993. *A Review and Methods for The use of Epilithic Diatoms for Detecting and Monitoring Change in River Water Quality. Methods for The Examination of Water and Associated Materials*. HMSO Books, London.
- Santhosh, B. and Singh, N.P., (2007), Guidelines for water quality management for fish culture in Tripura, ICAR Research Complex for NEH Region, Tripura Center, Publication no.29
- Sawyer, C.N. dan M.C. Carty. 1978. *Chemistry of Environmental Engineering*. Third edition. McGraw-Hill Book Company, Tokyo. 532 hal.
- Schwedler, T.E. dan C.S. Tucker. 1983. Empirical Relationship between Percent Methemoglobin in Channel Catfish and Dissolved Nitrite and Chloride in Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 112 : 117-119
- Shigeno, K. 1978. Problems in Prawn Culture. Amerind Publishing Co. New Dehl. 103 pp.
- Shilo, M. 1967. Formation and mode of action of algal toxins. *Bacteriol Reviews* 31:180-193.
- Supono. 2008. Analisis Diatom Epipellic Sebagai Indikator Kualitas Lingkungan Tambak Untuk Budidaya Udang. *Tesis*. Universitas Diponegoro. 92 hal.
- Supono.2010. Analisis keragaan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) yang dipelihara pada skala intensif dengan sistem zero water exchange. *Prosiding Seminar Nasional dan Rapat Tahunan Dekan bidang Ilmu-Ilmu Pertanian BKSPTN Wilayah Barat*. :1126-1129.
- Supono. 2011. Studi perbandingan keragaan udang windu (*Penaeus monodon*) dan udang putih (*Litopenaeus vannamei*) pada tambak semi plastik. *Pena Akuatika*. 3 (1) : 1-8.
- Supono, J. Hutabarat, S.B. Prayitno, dan Y.S. Darmanto. 2014. White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture Using Heterotrophic aquaculture System on Nursery Phase. *International Journal of waste Resources* 4 (2) :1000142.
- Stumm W. And Morgan J.J. 1996. *Aquatic Chemistry : Chemical Equilibria and rates in natural Waters*. John Wiley & Sons Inc. New York. 1022 hal.

- Tebbut T.H.Y. 1992. *Principles of Water Quality Control*. Fourth edition, Pergamon Press, Oxford. 251 hal.
- Swingle, H.S. 1969. *Methods of Analysis for Waters , Organic Matter, and Pond Bottom Soils used in Fisheries Research*. Auburn University, Auburn, Alabama. 119 hal.
- Taylor, J.C., Yuuren, J.V., Pieterse, A.J.H. 2007. The Application and Testing of Diatom-Based Indices in the Vaal and Rivers, South Africa. *Water SA*, 33 (1), January.
- Ulitzer, S. 1973. The amphiphatic nature of *Prymnesium parvum* hemolysin. *Biochemica et Biophysica Acta* 298:673-679.
- Wasiolesky, W, Bianchini, A, Sanchez, C.C, dan Poersch, L.H. 2003. The effect of Temperature, Salinity and Nitrogen Products on Food Consumption of Pink *Fartantepenaeus paulensis*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 46 : 135-141
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Co., Philadelphia. 743 hal.
- World Health Organization (WHO). 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1. Coastal and Fresh Waters, WHO, Geneva, Switzerland.
- Wilkinson, S. 2002. The Use of Lime, Gypsum, Alum, and Potassium Permanganate in Water Quality Management. *Aquaculture Asia*. 7( 2 ) : 12 -14.
- Wurts , W.A. dan Durborow, R.M. 1992. *Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds*. Southern Regional Aquaculture Center, Publication No. 464, Desember
- Wurts, W.A. 1993. Dealing with oxygen depletion in ponds. *World Aquaculture*, 24 : 108-109
- Wurts, W. A. and M. P. Masser. 2013. Liming Ponds for Aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center*. Publication No. 4100.
- Zelaya, O, Boyd, C.E., Coddington, D.R., Green B.W. 2001. Effect of Water Recirculation on Water Quality and Bottom Soil in Aquaculture Ponds. Ninth Work Plan, *Effluent and Pollution Research 4*. Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama, USA
- Zimba, P.V., M. Rowan and R.Triemer. 2004. Identification of euglenoid algae that produce ichthyotoxin(s). *Journal of Fish Diseases* 27:115-117.
- Zonneveld, N., E.A. Huiman, dan J.H. Boon. 1991. *Prinsip-Prinsip Budidaya Ikan*. PT Gramedia Pustaka Utama, 318 hal.





**Supono.** Lahir di Salatiga, Jawa Tengah pada tanggal 2 Oktober 1970. Setelah tamat SMA, pada tahun 1990 Penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Perikanan Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro. Setelah lulus sarjana (S1), Penulis bekerja di perusahaan tambak udang PT CP. Bratasena kabupaten Tulang Bawang, Lampung sebagai teknisi/supervisi *Aquaculture Division* pada tahun 1995-2004.

Selama bekerja di perusahaan tambak udang tersebut Penulis banyak belajar mengenai manajemen kualitas air dan teknik budidaya udang baik udang windu (*Penaeus monodon*) maupun udang putih (*Litopenaeus vannamei*).

Pada tahun 2005, Penulis bekerja sebagai dosen tetap pada program studi Budidaya Perairan Universitas Lampung dan berkesempatan melanjutkan studi S2 sampai S3 pada tahun 2006-2008 dan 2010-2014 pada program studi Manajemen Sumberdaya Pantai (Undip) dengan mengambil konsentrasi Manajemen Budidaya perairan. Mata kuliah yang diampu Penulis antara lain : Manajemen Kualitas Air, Teknologi Produksi Udang, dan Enjenering Akuakultur.

Saat ini Penulis banyak melakukan penelitian-penelitian baik dengan teman sejawat atau melibatkan mahasiswa terutama dalam bidang enjinereng akuakultur dan sistem heterorof (biofloc) baik terhadap ikan maupun udang. Penulis juga sedang mengembangkan tambak udang percontohan di Kecamatan Pasir sakti Kabupaten Lampung Timur.

# MANAJEMEN LINGKUNGAN UNTUK AKUAKULTUR

Lingkungan kolam yang meliputi air dan tanah berperan penting dalam menunjang keberhasilan budidaya ikan/udang. Manajemen kualitas air selama ini dianggap merupakan faktor paling penting dalam pengelolaan akuakultur, namun demikian akhir-akhir ini banyak penelitian yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat erat antara variabel kualitas tanah dan air. Tanah dasar kolam berpengaruh terhadap tingkat kesuburan kolam. Tanah dasar kolam merupakan tempat akumulasi limbah akuakultur yang dapat menghasilkan senyawa beracun seperti amonia ( $\text{NH}_3$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) maupun hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Pengelolaan yang komprehensif kualitas air dan tanah akan mendukung keberhasilan budidaya ikan/udang.

Buku Manajemen Lingkungan untuk Akuakultur ini berisi tentang peranan lingkungan kolam dalam akuakultur, manajemen kualitas air, manajemen kualitas tanah, *benthic diatom*, senyawa beracun dalam kolam, dinamika ekosistem kolam, aplikasi bahan kimia, serta sistem heterotrof dalam akuakultur. Disamping berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan akuakultur, buku ini juga berisi tentang permasalahan-permasalahan yang muncul dalam budidaya ikan dan udang yang berkaitan dengan lingkungan akuakultur. Buku ini dapat dijadikan rujukan bagi akademisi dan praktisi budidaya ikan, udang atau kultivan lainnya yang ingin mendalami tentang lingkungan akuakultur, dinamika ekosistem kolam serta manajemen kualitas air dan tanah.