



JARINGAN INFORMASI PERIKANAN INDONESIA  
(INDONESIAN FISHERIES INFORMATION SYSTEM)



No. ISSN 0215 - 2126

INFIS Manual Seri No. 25, 1991

## PENGELOLAAN PEUBAH MUTU AIR YANG PENTING DALAM TAMBAK UDANG INTENSIF

Disusun oleh:

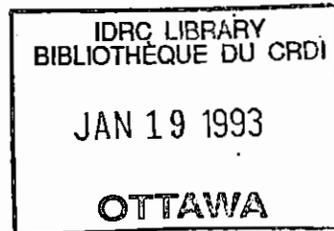
Dr. Taufik Ahmad

(Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai, Maros)

Diterbitkan oleh  
DIREKTORAT JENDERAL PERIKANAN  
Bekerjasama Dengan  
INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE

88-0199  
67021  
ARCSER  
MICROFICED

**PENGELOLAAN PEUBAH MUTU AIR  
YANG PENTING-DALAM  
TAMBAK UDANG INTENSIF**



**Disusun oleh:**  
**Dr. Taufik Ahmad**  
**(Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai, Maros)**

**Tidak diperkenankan untuk memperbanyak maupun  
memperjual-belikan publikasi ini tanpa seijin  
Direktorat Jenderal Perikanan**

## KATA PENGANTAR

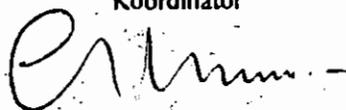
Dalam upaya meningkatkan penyebar luasan informasi teknologi perikanan dan memperkaya khasanah pustaka bagi para petugas teknis perikanan, Jaringan Informasi Perikanan Indonesia (INFIS) bekerjasama dengan IDRC (The International Development 'Research Centre) berusaha menerbitkan berbagai hasil penelitian perikanan dan karya-karya tulis dibidang perikanan lainnya yang relevan dengan kebutuhan pembangunan perikanan nasional.

Untuk itu dalam penerbitan INFIS Manual Seri No. 25, 1991 ini diterbitkan dengan memilih judul "*Pengelolaan Peubah Mutu Air Yang Penting Dalam Tambak Udang Intensif*" yang disusun oleh Dr. Taufik Ahmad, staf Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai, Maros. Tulisan ini merupakan hasil uji coba kualitas air dalam usaha tambak udang dengan pola intensif yang dilaksanakan oleh Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai – Maros.

Semoga publikasi ini dapat memberikan tambahan pengetahuan bagi para pembaca, utamanya bagi masyarakat dan pengusaha yang bergerak dibidang usaha budidaya air payau/pertambakan.

selamat membaca.

Jaringan Informasi Perikanan Indonesia  
Koordinator



(Drs. ALWINUR)



# DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
PENDAHULUAN .....	1
OKSIGEN TERLARUT .....	1
PENURUNAN KONSENTRASI OKSIGEN TERLARUT .....	6
JUMLAH AERATOR DALAM PETAK TAMBAK .....	8
DERAJAT KEMASAMAN .....	11
PENGGAPURAN .....	16
AMMONIAK .....	21
ASAM BELERANG .....	25
SUHU AIR .....	26
KECERAHAN .....	27
KADAR GARAM (SALINITAS) .....	27
LOGAM BERAT DAN PESTISIDA .....	32
PENUTUP .....	34
DAFTAR PUSTAKA .....	36
DAFTAR PUBLIKASI INFIS MANUAL .....	38

## PENDAHULUAN

Mutu air dalam arti luas merangkum segala sifat biologi, fisik dan kimia air. Namun untuk tujuan budidaya udang di tambak hanya beberapa dari sifat-sifat tersebut yang perlu diperhatikan. Selain itu karena udang merupakan hewan laut, peubah mutu air yang mungkin penting untuk budidaya ikan air tawar menjadi kurang berarti di tambak.

Beberapa peubah yang penting untuk diperhatikan oleh para pemelihara udang di tambak meliputi oksigen terlarut, salinitas (kadar garam), suhu, warna, pH, serta senyawa beracun seperti amoniak dan asam belerang yang berkaitan erat satu sama lain. Lingkungan yang baik bagi udang adalah air tambak dengan peubah-peubah tersebut saling berpengaruh dalam keseimbangan konsentrasinya yang optimal.

Oksigen terlarut ("dissolved oxygen" = DO) merupakan salah satu peubah mutu air yang mampu mempengaruhi peubah lain. Konsentrasi karbon dioksida dan pH harian air tambak berubah-ubah sesuai dengan konsentrasi oksigen terlarut. Pada gilirannya, perubahan pH mempengaruhi keseimbangan reaksi ammonia ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$ ) dan senyawa sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$ ) serta senyawa lain seperti berbagai hidroksida logam.

Di lain pihak, kelarutan oksigen dalam air dipengaruhi peubah lain seperti suhu, salinitas, bahan organik terlarut dan kecerahan. Peningkatan baik suhu, dan salinitas maupun bahan organik terlarut menurunkan konsentrasi jenuh oksigen terlarut. Penurunan kecerahan menaikkan konsentrasi oksigen terlarut pada siang hari namun menurunkannya pada malam hari.

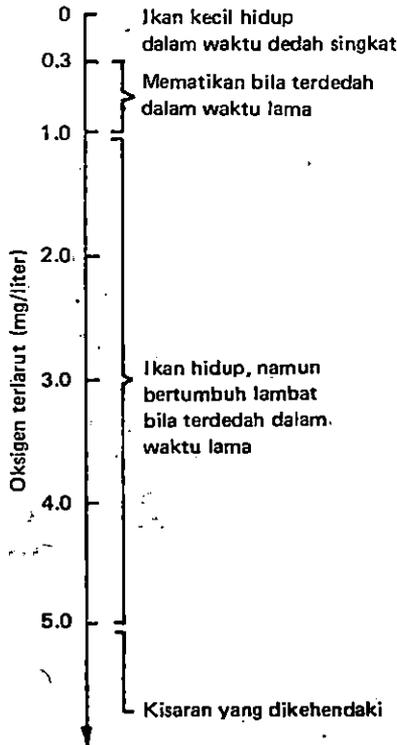
Keterkaitan peubah-peubah mutu air juga dipengaruhi faktor luar seperti penambahan pakan dan metabolit. Pakan sisa yang membusuk dan metabolit yang dihasilkan organisme air mampu secara nyata mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut, senyawa nitrogen dan sulfida. Pengelolaan mutu air sebagai upaya mempertahankan kondisi air agar tetap optimal bagi usaha budidaya harus diselaraskan dengan penggunaan jumlah berbagai bahan seperti pakan, pupuk dan pestisida yang ditambahkan termasuk jumlah udang yang ditebar.

## OKSIGEN TERLARUT

Oksigen terlarut merupakan peubah mutu air paling penting bagi kehidupan organisme air. Oksigen terlarut dalam air pada konsentrasi tertentu dapat diserap oleh haemosianin dalam pembuluh darah lamella insang udang akibat perbedaan tekanan parsial. Oksigen yang diserap kemudian dimanfaatkan dalam proses metabolisme baik untuk pembentukan sel baru (pertumbuhan) dan untuk gerak maupun untuk penggantian sel yang hilang/rusak.

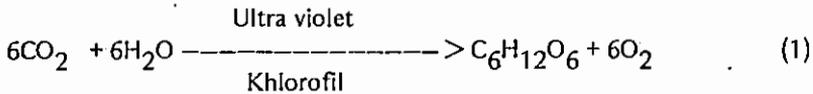
Pada konsentrasi oksigen yang rendah, lebih rendah dari 50% konsentrasi jenuh, tekanan parsial oksigen dalam air tidak cukup tinggi untuk memungkinkan penetrasi oksigen ke dalam lamella akibatnya udang bisa mati lemas (Gambar 1). Pada konsentrasi jauh lewat jenuh, lebih tinggi dari 150% konsentrasi jenuh, penetrasi oksigen ke dalam lamella terlalu cepat hingga dapat mengakibatkan "gas bubble disease", ditandai dengan keberadaan gelembung udara yang banyak dalam lamella.

Tekanan parsial oksigen dalam air diatur oleh tekanan parsial oksigen di udara. Bila tekanan oksigen dalam air lebih rendah dari tekanan oksigen di udara, oksigen akan berdifusi dari udara ke dalam air sampai keseimbangan ("equilibrium") tercapai. Dalam keseimbangan, jumlah molekul oksigen yang lepas dari air ke udara dan yang masuk dari udara ke dalam air sama. Pada kondisi demikian konsentrasi oksigen terlarut ada pada konsentrasi jenuh.



**Gambar 1. Pengaruh kisaran konsentrasi oksigen terlarut terhadap ikan**

Konsentrasi oksigen lewat jenuh biasa terjadi dalam tambak yang ditumbuhi fitoplanton dengan populasi yang padat. Fitoplankton pada siang hari memproduksi oksigen melalui proses fotosintesis sebagai berikut :



Karena oksigen yang dihasilkan pada proses fotosintesis berdifusi sangat lambat ke dalam air, maka konsentrasi lewat jenuh pada siang hari akan dicapai sebelum oksigen dapat dilepaskan melalui permukaan air.

Fitoplankton selain merupakan penyumbang oksigen utama dalam air, juga merupakan pengguna utama oksigen. Dalam tambak, diperkirakan sekitar 69,4% dari oksigen terlarut dalam air diserap oleh plankton sedangkan sisanya 14,8% dimanfaatkan tanah dasar, 8,6% dikonsumsi udang dan 7,2% digunakan ikan liar untuk respirasi (Chiang, 1987).

Produksi pada siang hari dan konsumsi pada malam hari mengakibatkan terjadi selangkung konsentrasi oksigen terlarut harian. Konsentrasi oksigen terlarut paling rendah biasanya terjadi sesaat sebelum matahari terbit. Sesaat setelah matahari terbit proses fotosintesis dimulai dan makin meningkat sejalan dengan peningkatan intensitas cahaya matahari. Konsentrasi oksigen terlarut mencapai maksimum pada saat selisih oksigen yang diproduksi pada proses fotosintesis dan oksigen yang digunakan pada proses respirasi paling besar. Keadaan tersebut dapat dicapai antara pukul 14.00 sampai 17.00, setelah itu konsentrasi oksigen menurun karena laju respirasi lebih dominan dari laju fotosintesis (Gambar 2).

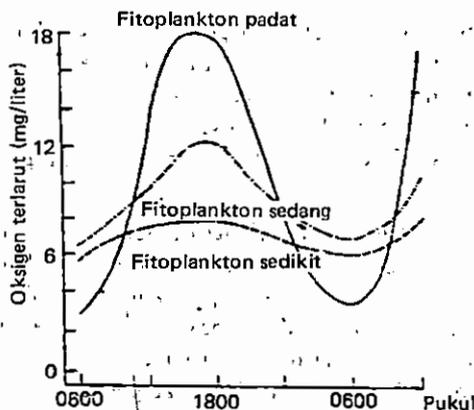
Selangkung konsentrasi oksigen terlarut harian biasa lebih jelas di air permukaan dari pada di air dasar, terutama bila terjadi stratifikasi air yaitu pemisahan-pemisahan air permukaan dan air dasar akibat perbedaan suhu dan berat jenis serta tidak adanya pengadukan. Konsentrasi oksigen terlarut dalam air dasar yang mengalami stratifikasi biasa lebih rendah karena proses fotosintesis terjadi lebih lambat.

Proses fotosintesis masih dapat berlangsung sampai di kedalaman air tambak dua kali kedalaman piring Secchi (lempeng bundar berdiameter 20 cm yang dicat hitam dan putih secara berselang-seling dalam kuadran) menghilang dari penglihatan. Kedalaman piring Secchi di tambak yang subur berkisar 20 – 30 cm. Karena itu konsentrasi oksigen terlarut di dasar tambak, kedalaman 80 – 120 cm yang dikelola secara intensif biasanya rendah kalau pengadukan air tidak dilakukan.

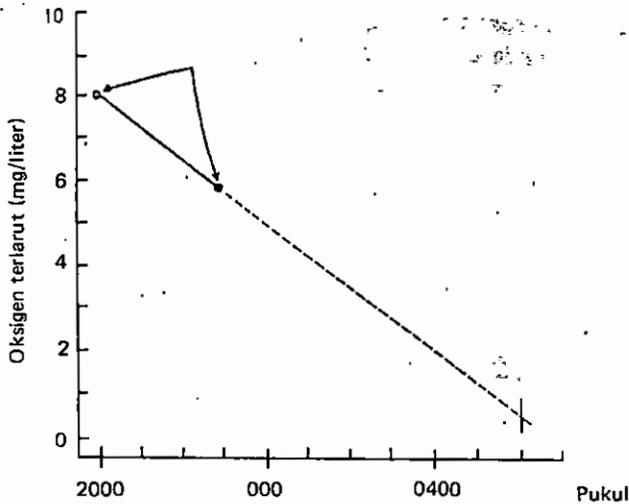
Pengadukan air secara alamiah dapat terjadi akibat gerak air oleh tiupan angin dan pergantian air. Namun baik angin maupun pergantian air tidak dapat diandalkan secara penuh karena pasif. Penggunaan alat pengaduk air seperti Air - O<sub>2</sub> maupun kincir mutlak diperlukan dalam tambak yang dikelola secara intensif. Air - O<sub>2</sub> mampu mengaduk air lebih cepat dari kincir, tapi tidak mampu menyaingi kincir dalam mengalihkan (transfer) oksigen dari udara ke dalam air. Kincir, dengan jalan memercikkan air ke udara, mampu menarik oksigen dari udara ke dalam air maupun melepas oksigen dari air secara lebih cepat. Dengan demikian, kincir dapat digunakan selain untuk menambahkan oksigen ke dalam air juga untuk melepaskan oksigen dari air apabila konsentrasi oksigen terlarut terlalu jauh lewat jenuh. Dengan mengetahui kedua kemampuan tersebut penggunaan kincir dapat dilakukan secara lebih sangkil (berdaya guna).

Pada pukul 14.00 - 17.00 kincir dapat dijalankan untuk melepas sebagian oksigen dari air ke udara sehingga kemungkinan udang terkena "gas bubble disease" bisa dikurangi. Pengoperasian kincir setelah pukul 17.00 kurang menguntungkan karena mampu mengurangi cadangan oksigen terlarut yang dapat digunakan untuk proses respirasi pada malam hari. Kincir harus kembali dijalankan pada malam hari sampai saat matahari terbit, bila konsentrasi oksigen mencapai kurang dari 3 mg/liter.

Untuk mengetahui saat konsentrasi oksigen terlarut mencapai konsentrasi kritis secara praktis dapat digunakan cara ekstrapolasi. Ukur konsentrasi oksigen (dapat dilakukan dengan DO meter) pada 08.00 malam dan pukul 12.00 malam, plotkan hasil pengukuran dalam kurva. Konsentrasi oksigen terlarut akan menurun menurut garis lurus yang melewati kedua nilai yang diplot (Gambar 3). Dari garis lurus yang terbentuk dapat ditentukan jam konsentrasi oksigen terlarut mencapai konsentrasi kritis dan saat kincir harus dijalankan.



Gambar 2. Selangkung konsentrasi oksigen terlarut harian dalam tambak.

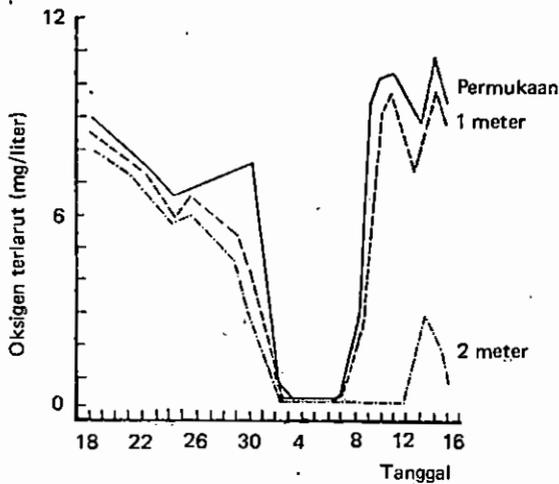


**Gambar 3.** Cara ekstrapolasi menduga penurunan konsentrasi oksigen terlarut pada malam hari.

Selain waktu penggunaan, jumlah aerator juga perlu ditentukan untuk memasok oksigen ke dalam tambak secara mangkus. Dari hasil pengamatan di tambak Kamal, Jakarta, dua buah kipas yang masing-masing berkapasitas 1 KVA belum memadai untuk dapat mempertahankan konsentrasi oksigen terlarut sekitar jenuh dalam tambak berukuran 5.000 m<sup>2</sup> yang ditebari 80.000 ekor benur. Berdasarkan rancang bangun tambak intensif yang berbentuk bujur sangkar berukuran 70 x 70 m<sup>2</sup> diperlukan 4 unit kipas yang masing-masing berkapasitas 1 KVA dan ditempatkan di masing-masing sudut tambak dapat diangap memadai untuk mempertahankan oksigen terlarut pada sekitar konsentrasi jenuh.

Selain dengan penggantian air dan penggunaan alat bantu, masalah konsentrasi oksigen terlarut yang rendah juga dapat diperkecil melalui pengaturan pemberian pakan. Pemberian pakan yang berlebihan biasanya diikuti oleh proses pembusukan yang memanfaatkan oksigen dari air. Selain itu hasil akhir dari pembusukan dapat berupa bahan anorganik yang merupakan pupuk bagi fitoplankton. Pertumbuhan fitoplankton yang padat ("bloom") dalam air tambak yang dikelola secara intensif dapat membentuk lapisan hijau di permukaan air yang mampu menghambat penetrasi cahaya matahari dan menghambat fotosintesis di dasar (Romaine dan Boyd, 1979).

Pada keadaan lanjut, penumpukan panas pada lapisan padat plankton akibat radiasi ultra violet mampu menimbulkan kematian massal fitoplankton ("phytoplankton die-offs"). Penurunan oksigen terlarut biasa berlangsung secara drastis setelah kematian massal fitoplankton terjadi (Gambar 4). Karena itu sebaiknya pemberian pakan disesuaikan dengan kedalaman piring Secchi pada pemantauan kecerahan yang terletak antara 30 – 40 cm. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa pemberian pakan sebanyak 20% dari berat biomas pada awal bulan pemeliharaan dan 3% pada bulan-bulan terakhir tidak mengakibatkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut secara nyata.



**Gambar 4. Penurunan konsentrasi oksigen terlarut setelah kematian massal fitoplankton**

## PENURUNAN KONSENTRASI OKSIGEN TERLARUT

Perbedaan laju fotosintesis dan laju respirasi mengakibatkan perubahan konsentrasi oksigen terlarut. Berlawanan dari pada siang hari, pada malam hari laju respirasi lebih cepat dari laju fotosintesis (kalau ada). Sebagai akibat peristiwa tersebut, konsentrasi oksigen terlarut menurun sepanjang malam sampai matahari mulai terbit (Gambar 2).

Secara umum, berdasarkan persamaan yang dikembangkan Romaine dan Boyd (1978) serta Romaine et al., (1978) penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam tambak udang dapat digambarkan sebagai berikut:

$$DO_f = DO_M - DO_p - DO_u - DO_k$$

Catatan :

$DO_f$  = konsentrasi oksigen terlarut pada waktu fajar (mg/liter)

$DO_m$  = konsentrasi oksigen terlarut pada waktu magrib (mg/liter)

$DO_p$  = oksigen terlarut yang diambil plankton (mg/liter)

$DO_u$  = oksigen terlarut yang diambil udang (mg/liter)

$DO_d$  = oksigen terlarut yang diambil tanah dasar (mg/liter)

$DO_k$  = oksigen terlarut yang digunakan reaksi kimia (mg/liter).

Konsentrasi oksigen terlarut pada waktu fajar sangat tergantung pada konsentrasi oksigen terlarut pada waktu magrib (surya terbenam). Makin rendah DO pada waktu magrib makin rendah DO pada waktu fajar, karena tidak ada proses produksi oksigen pada malam hari.

Plankton merupakan pengguna utama oksigen terlarut pada malam hari. Menurut Boyd (1982) plankton pada kolam yang subur setiap jam menghabiskan kira-kira 0,36 mg  $O_2$ /liter. Kalau diasumsikan waktu tidak ada cahaya matahari sekitar 12 jam maka jumlah oksigen yang diambil plankton dalam satu hektar air tambak yang dalamnya 1 meter adalah :

$$\frac{0,36 \text{ mg}}{\text{liter jam}} \times 12 \text{ jam} \times 10.000 \text{ m}^3 \times \frac{1.000 \text{ l}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1.000.000 \text{ mg}} = 43,2 \text{ kg}$$

Pada kondisi tambak (suhu 30°C, DO 6,5 mg/l) konsumsi setiap gram bobot tubuh udang akan oksigen mencapai 0,55 mg/jam (Poernomo, 1988). Pada padat penebaran 300.000 ekor/ha dan kelulushidupan 75% maka oksigen yang diambil udang pada malam hari mencapai :

$$0,75 \times 300.000 \text{ ekor} \times \frac{30 \text{ g}}{\text{ekor}} \times \frac{0,55 \text{ mg } O_2}{\text{gram jam}} \times 12 \text{ jam} \times \frac{1 \text{ kg}}{1.000.000 \text{ mg}} = 14,85 \text{ kg}$$

Keberadaan udang liar tidak dapat dihindari dalam tambak intensif. Kalau diasumsikan terdapat sekitar 250 kg udang liar per ha maka konsumsi udang akan oksigen menjadi :

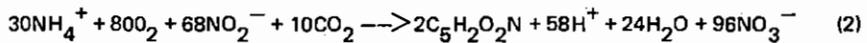
$$(14,85 \text{ kg} + \frac{250 \text{ kg}}{6.750 \text{ kg}}) \times 14,85 \text{ kg} = 15,4 \text{ kg}$$

Menurut Boyd (1982) respirasi setiap meter persegi tanah dasar kolam memerlukan 61 mg  $O_2$ /jam. Dalam satu hektar tambak, oksigen yang diperlukan untuk respirasi tanah dasar pada malam hari adalah :

$$\frac{61 \text{ mg O}_2}{\text{m}^2 \text{ jam}} \times 12 \text{ jam} \times 10.000 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ kg}}{1.000.000 \text{ mg}} = 7,32 \text{ kg}$$

Di antara senyawa kimia yang ada dalam tambak udang, ammonia merupakan senyawa pengguna oksigen utama. Wickins (1985) melaporkan bahwa tiap gram bobot tubuh udang berukuran 30 gram memproduksi 0,30 mg  $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ /hari, atau sama dengan 0,30 mg  $\text{NH}_4^+$ /hari. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) juga diproduksi pada pembusukan sisa pakan. Bila pakan diberikan 3% dari berat biomassa/hari, maka dalam satu hari diproduksi sekitar 0,49 mg/liter  $\text{NH}_4^+$  yang merupakan perjumlahan ammonia yang diproduksi udang dan sisa pakan (lihat Bab Ammonia). Berdasarkan reaksi nitrifikasi:

Nitrosomonas



Nitrobacter

untuk menghilangkan ammonia sebanyak 0,49 mg/liter diperlukan 1,9 mg  $\text{O}_2$ /liter. Jadi oksigen yang diperlukan untuk oksidasi ammonia pada malam hari mencapai 9,5 kg  $\text{O}_2$ /ha (1,9 mg  $\text{O}_2$ /liter x 10.000.000 liter/ha x 1 kg/1.000.000 x 12 mg/24 jam).

Jumlah oksigen total yang diperlukan pada malam hari menjadi 43,2 + 15,4 + 7,32 + 9,5 kg/ha = 75,42 kg/ha atau 7,54 mg/liter. Bila konsentrasi terlarut pada waktu magrib 9,0 mg/liter - 7,54 mg/liter = 1,46 mg/liter. Menurut Cholikh (1988) dan Poernomo (1988) konsentrasi oksigen terlarut terendah yang baik bagi pertumbuhan udang adalah 3 mg/liter. Dalam kasus ini, jelas diperlukan alat bantu penghasil oksigen untuk menghindari kematian udang akibat kekurangan oksigen.

## JUMLAH AERATOR DALAM PETAK TAMBAK

Seperti telah diasumsikan pada bab terdahulu, dalam tambak udang pada waktu subuh dapat terjadi defisit oksigen 3 mg/liter - 1,46 mg/liter = 1,54 mg/liter atau 15,4 kg/ha. Kecepatan difusi oksigen dari udara tidak akan mampu mengatasi defisit tersebut dalam waktu singkat sementara fotosintesis tidak mungkin terjadi. Dalam keadaan seperti itu, aerator sebagai alat bantu pemasok oksigen dari udara diperlukan.

Salah satu ciri usaha budidaya udang intensif adalah efisiensi dan efektivitas penggunaan alat dan sumberdaya. Aerator sebagai alat pemasok oksigen harus digunakan secara efisien dan tepat. Penggunaan aerator yang tidak benar dapat berakibat pada pengeluaran biaya tanpa hasil. Seperti telah disebutkan,

jumlah oksigen yang harus dipasok pada malam hari sekitar 15,4 kg/ha. Aerator yang kini banyak digunakan di tambak adalah aerator produksi Taiwan atau RRC dalam bentuk kincir. Menurut hasil penelitian Ahmad dan Boyd (1986) serta Boyd dan Ahmad (1988) aerator produksi Taiwan hanya mampu memasok 2,10 kg O<sub>2</sub>/kw. jam.

Dalam air payau, karena kelarutan oksigen dipengaruhi kadar garam, kemampuan aerator memasok oksigen menurun. Benefield dan Randall (1982) melaporkan bahwa koefisien alih oksigen dalam air kolam lebih rendah dari koefisien alih oksigen dalam air bersih. Perbandingan antara koefisien alih oksigen dalam kolam dan dalam air bersih disebut Alpha ( α ). Nilai alpha untuk air tambak diperkirakan antara 0,80 – 0,90. Selain nilai alpha ada juga nilai beta ( β ) yaitu perbandingan antara konsentrasi jenuh oksigen terlarut dalam air kolam dan dalam air murni pada suhu yang sama (Shelton and Boyd, 1983). Untuk air payau nilai beta biasa berkisar 0,85 – 0,90.

Percobaan untuk mengukur kemampuan aerator memasok oksigen biasa dilakukan dalam kondisi baku (air bersih, suhu 20°C dan tekanan 1 atm.). Untuk mengukur kemampuan aerator dilapangan digunakan nilai alpha dan beta (Petrille dan Boyd, 1984; Armstrong dan Boyd, 1985) dalam rumus berikut:

$$OT = SOTR \left[ \left( \frac{C_s - C_a}{9,17} \right) \times (1,024)^{T-20} \right]$$

**Catatan :**

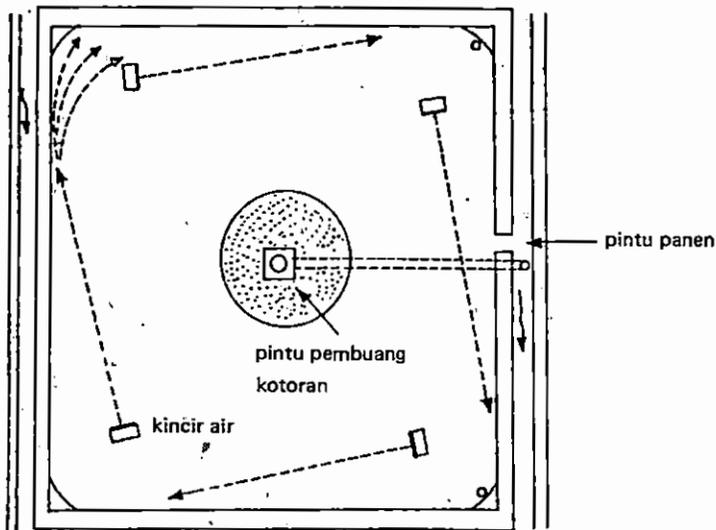
- OT = Pasok oksigen di lapangan (kg/kw. jam)
- STOR = Pasok oksigen pada kondisi baku (kg/kw. jam)
- C<sub>s</sub> = Oksigen terlarut pada konsentrasi jenuh (mg/liter)
- C<sub>a</sub> = Oksigen terlarut di lapangan (mg/liter)
- T = Suhu air (°C)

Kemampuan aerator yang dapat memasok 1,3 kg O<sub>2</sub>/kg. jam pada kondisi baku menurun di lapangan suhu 24°C pada saat menjelang fajar, alpha = 0,80 dan beta 0,90 menjadi :

$$OT = 1,3 \left[ \left( \frac{(0,90) (8,4) - 1,33}{9,17} \right) (1,024)^{24-20} \right] 0,80 = 0,97 \text{ kg O}_2/\text{kw. jam}$$

Bila hanya ada satu aerator tersebut yang dapat digunakan untuk memasok oksigen terlarut sebanyak 1,54 mg/liter, maka diperlukan tenaga aerasi sebesar:

$$\frac{15,4 \text{ kg O}_2}{0,97 \text{ kg O}_2/\text{kw. jam}} = 15,88 \text{ kw. jam}$$



**Gambar 5. Posisi kincir yang tepat dalam tambak untuk meningkatkan kemungkinan laju alih oksigen.**

Kebanyakan aerator yang digunakan di Indonesia berkekuatan 1 kw, maka diperlukan 16 unit aerator untuk menaikkan konsentrasi oksigen terlarut dari 1,46 mg/liter menjadi 3 mg/liter dalam satu jam. Teoritis, bila aerator dioperasikan selama 4 jam (dari 01.00 sampai jam 05.00) maka 4 buah aerator yang diatur pada posisi yang tepat (gambar 5) per hektar tambak sudah memadai.

Aerator terbaik yang pernah dibuat mampu memasok 2,9 kg  $O_2$ /kw. jam (Tabel 1) pada kondisi baku (Ahmad dan Boyd, 1988; Boyd, 1989a) atau 2,17 kg  $O_2$ /kw. jam pada kondisi tambak. Bila diaplikasi pada kondisi yang sama seperti kasus pertama, maka diperlukan 7,10 kw. jam untuk menaikkan konsentrasi oksigen terlarut dari 1,46 mg/liter menjadi 3 mg/liter. Aerator jenis ini dapat digerakkan dengan motor 2 kw, maka diperlukan 4 aerator per hektar untuk meningkatkan oksigen terlarut mencapai konsentrasi yang layak bagi kehidupan udang dalam waktu satu jam.

**Tabel 1. Efisiensi aerasi baku (SAE) dari beberapa jenis aerator**

Jenis Aerator	Efisiensi Aerasi Baku (kg O <sub>2</sub> /kw. jam)
Kincir air Balitdita	2,96
Kincir air Taiwan	2,10
Pompa Turbin	1,58
Pompa Vertical	1,28
Pompa Penyemprot	0,97
Pompa udara	0,97

Kecepatan rotasi, diameter rotor bentuk baling-baling sangat berpengaruh terhadap kemampuan kincir memasok oksigen kedalam air. Kincir air Balitdita yang dirancang berbaling-baling besi siku dan berdiameter rotor 90 cm serta berputar pada kecepatan 80 rpm terbukti mampu mengungguli hampir semua jenis aerator (Tabel 1).

#### DERAJAT KEMASAMAN

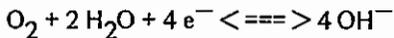
pH adalah cerminan dari derajat kemasaman yang diukur dari jumlah ion hidrogen menggunakan rumus umum  $\text{pH} = -\text{Log}(\text{H}^+)$ . Air murni terdiri dari ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  dalam jumlah berimbang hingga pH air murni biasa 7. Makin banyak ion  $\text{OH}^-$  dalam cairan makin rendah ion  $\text{H}^+$  dan makin tinggi pH, cairan demikian disebut cairan alkalis. Sebaliknya makin banyak ion  $\text{H}^+$  makin rendah pH dan cairan disebut bersifat masam.

Nilai pH terletak antara 1 – 14 dengan angka 7 sebagai nilai netral. Air laut biasa bersifat alkalis dengan pH lebih dari 7 karena banyak mengandung garam yang bersifat alkalis. pH air yang banyak mengandung CO<sub>2</sub> biasanya lebih rendah dari 7 dan bersifat masam. Karena udang merupakan salah satu hewan laut, pH diantara 7–9 sangat memadai bagi air tambak (Gambar 6). Dalam keadaan normal pH air tambak terletak antara 7–9 karena air laut merupakan buffer yang baik. Namun pada keadaan tertentu, kalau tanah dasar tambak memiliki potensi kemasaman, pH air tambak dapat turun mencapai lebih rendah dari 4.

Selain menggunakan nilai pH, ukuran kemasaman dasar atau air tambak juga dapat diduga dari Eh atau potensi oksidasi dan reduksi (redoks). Secara praktis, Eh merupakan ukuran perbandingan antara substansi teroksidasi dan substansi tereduksi. Nilai Eh positif bila elektron mengalir dari elektroda ke dalam larutan dan berarti larutan berada dalam keadaan oksidasi. Sebaliknya kalau elektron mengalir dari larutan ke elektroda maka larutan dari dalam keadaan

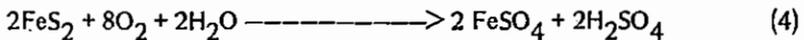
reduksi dan Eh menunjukkan nilai negatif. Eh biasa diukur dalam MV atau V dan biasa dikombinasikan dengan nilai pH dalam pH meter.

Redoks potensial dari air yang mengandung oksigen terlarut merupakan hasil oksigen potensial yang digambarkan dalam persamaan 1. Pada keadaan oksigen terlarut jenuh dan pH 7, redoks potensial (Eh) dari air dengan temperatur 25°C mencapai 0,80 volt. Namun karena berkaitan dengan oksigen potensial, Eh dari air kolam yang teroksigenasi berkisar 0,45 – 0,52 volt. Perubahan satu unit pada nilai pH dapat mengakibatkan perubahan 0,059 volt pada nilai Eh; perubahan tersebut negatif bila nilai pH di bawah tujuh dan positif untuk pH di atas 7.



Nilai Eh air dasar tambak yang teroksigenasi biasa mencapai 0,5 volt. Karena air tambak tidak dapat bertukar secara sempurna dengan air dalam pori lumpur, maka aktivitas mikroba dalam lumpur menurunkan oksigen terlarut. Akibat lanjut dari keadaan tersebut nilai Eh menurun secara drastis di bawah permukaan dasar tambak. Keadaan reduksi dalam lumpur tanah biasa ditemukan pada lapisan 1 – 2 cm di bawah permukaan dasar tambak yang ditandai dari perubahan warna lumpur dari coklat pada permukaan menjadi hitam di bawah permukaan. Nilai Eh dapat diasosiasikan dengan keberadaan beberapa substansi tereduksi seperti  $\text{NO}_2^-$ , 0,4 volt;  $\text{Mn}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ , 0,2 volt;  $\text{H}_2\text{S}$ , 0,1 volt. Keberadaan  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Mn}^{2+}$  biasanya dihubungkan dengan penurunan oksigen terlarut mencapai nol. Nilai Eh serendah 0,10 biasa ditemukan dalam lumpur tambak (Boyd, 1989 b).

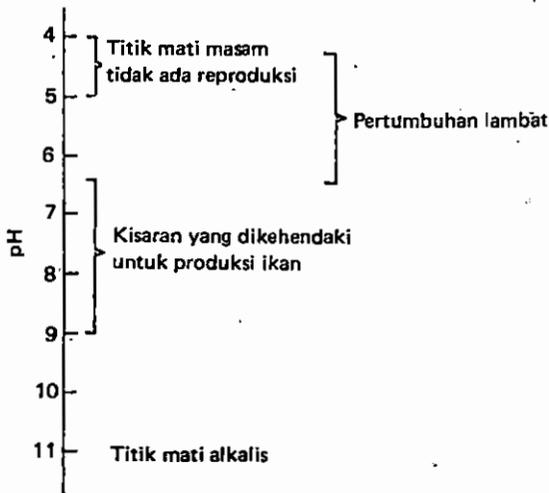
Dalam tambak, kondisi reduksi tanah dasar tidak dikehendaki karena sumber kemasaman air tambak adalah tanah dasar dan pematang. Bila tambak dibangun di lokasi yang banyak mengandung pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) kemungkinan penurunan pH akan lebih sering ditemui. Pyrit bila terdedah ke udara akan dioksidasi menghasilkan ion hidrogen dengan bantuan bakteri. Ion hidrogen yang terucur dan masuk ke dalam tambak mampu menurunkan pH air hingga lebih rendah dari 4. Rangkaian oksidasi pyrit adalah sebagai berikut:



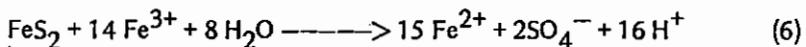
Asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) yang dihasilkan reaksi (4) menurunkan pH air dasar dan *Thiobacillus ferrooxidans*, bakteri pengoksidasi besi, mengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  pada pH rendah seperti terjadi pada reaksi (5).



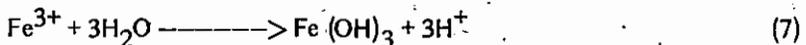
$\text{Fe}^{3+}$  terdapat dalam jumlah cukup pada pH 3,0 – 3,5 dan merupakan oksidan yang lebih kuat untuk pyrit dan sulfur dari oksigen sehingga reaksi (6) berlangsung.



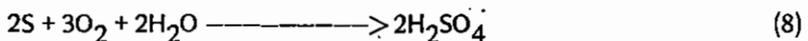
Gambar 6. Pengaruh kisaran nilai pH terhadap ikan



Pada pH lebih tinggi, hampir semua  $\text{Fe}^{3+}$  dihidrolisis dan mengendap sebagai besi hidroksida seperti terjadi pada reaksi (7).



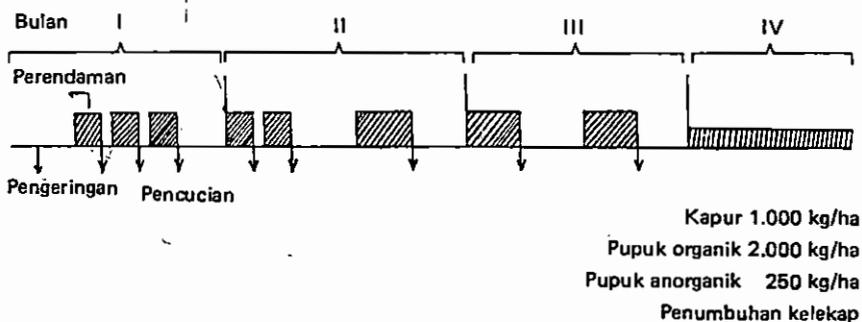
Pada akhir reaksi (8), belerang yang tersisa dalam tanah dioksidasi *Thiobacillus thiooxidans* menjadi asam sulfat.



Baik asam sulfat maupun ion hidrogen yang dihasilkan proses oksidasi mulai dari (4) sampai (8) merupakan sumber kemasaman air. Walaupun air laut merupakan buffer yang baik, penambahan asam sulfat dan ion hidrogen dalam jumlah banyak dapat mengakibatkan penurunan pH air secara drastis.

Kapur biasa dapat digunakan untuk menaikkan pH, namun untuk tanah yang mengandung pyrit, kapur yang diperlukan sangat banyak sehingga tidak sangkil. Biasa terjadi kapur yang sudah ditambahkan tercuci pada waktu pergantian air dan kemasaman air muncul kembali. Reklamasi merupakan salah satu cara untuk mengatasi kemasaman air akibat pyrit.

Reklamasi tanah tambak memungkinkan proses pengeringan ("drying") dan pencucian ("flushing") tanah dasar (Poernomo, 1986). Tahap pertama reklamasi adalah penggalian lokasi sehingga pasang air laut dapat dimanfaatkan untuk perendaman dan pencucian secara gravitasi, tahapan berikutnya disajikan pada Gambar 7. Perendaman tanah yang telah digali pada proses reklamasi dilakukan setelah satu minggu pengeringan dan diikuti dengan pencucian setiap hari selama pasang naik pada bulan pertama. Pengeringan dilakukan selama pasang surut setiap bulan. Perendaman dan pencucian dilakukan terus selama minggu pertama bulan kedua. Pada minggu ketiga bulan kedua dan minggu pertama serta ketiga bulan ketiga perendaman dilakukan selama satu minggu dan diikuti dengan pencucian.

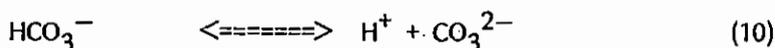
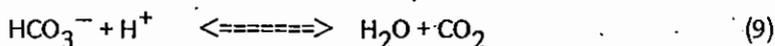


**Gambar 7. Skema pencucian dan pengeringan tanah dasar untuk memperbaiki pH tanah melalui reklamasi.**

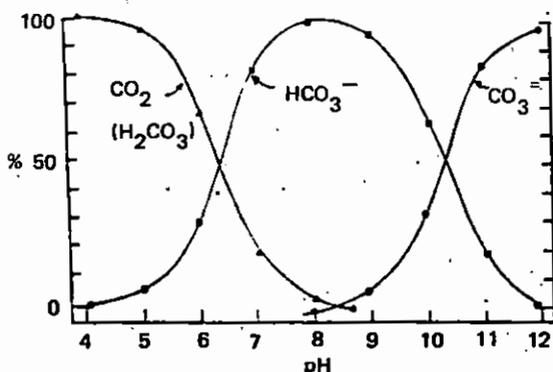
Pada awal bulan keempat, tambak dipersiapkan untuk penumbuhan kelekap. Peningkatan pH pada bulan keempat dapat dipercepat dengan jalan penambahan kapur sebanyak 800 – 1.000 kg/ha, sedang pupuk organik sebanyak 2.000 – 2.500 kg/ha diberikan untuk merangsang pertumbuhan kelekap. Pupuk anorganik (16 – 20 – 0) sebanyak 25 kg/ha ditambahkan pada hari kelima, 75 kg/ha pada minggu kedua, dan sisanya diberikan setiap minggu sampai total mencapai 250 kg/ha. Kelekap yang tumbuh dengan baik dan padat merupakan indikasi reaksi tanah sudah memadai untuk budidaya udang.

pH air tambak selain dipengaruhi tanah dasar juga dipengaruhi konsentrasi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) terlarut. Karbon dioksida digunakan fitoplankton dalam proses fotosintesis pada siang hari. Sebaliknya karbon dioksida dihasilkan baik pada siang maupun malam hari dalam proses respirasi. Karena itu, konsentrasi karbon dioksida terlarut dijumpai rendah pada siang hari dan tinggi pada malam hari.

Selangkung karbon dioksida harian mempengaruhi keseimbangan reaksi karbonat dalam air. Reaksi karbonat-bikarbonat berlaku sebagai penyangga ("buffer") perubahan pH air.



Bila konsentrasi  $\text{CO}_2$  bebas menurun akibat fotosintesis, reaksi (9) akan mengarah ke kanan, akibatnya ion  $\text{H}^+$  banyak digunakan dan pH air naik. Sebaliknya bila konsentrasi  $\text{CO}_2$  bebas menaik sebagai akibat respirasi, reaksi (9) akan mengarah ke kiri dan ion  $\text{H}^+$  diproduksi hingga pH air turun. Namun naik turunnya pH akibat reaksi (9) dibatasi reaksi selanjutnya (10) dan (11), yang menghasilkan baik  $\text{H}^+$  maupun  $\text{OH}^-$ . Dalam kondisi normal, reaksi (8), (9), dan (10) berkaitan erat sehingga baik penurunan maupun peningkatan pH tidak akan berlangsung ekstrim. Gambar 8, memperlihatkan bagaimana pH air dipengaruhi konsentrasi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ .



**Gambar 8. Hubungan pH air dengan konsentrasi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ )**

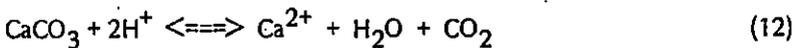
Pada pagi hari saat konsentrasi  $\text{CO}_2$  masih tinggi pH tambak biasanya berkisar sekitar 7,0. Pada sore hari saat konsentrasi oksigen terlarut mencapai maksimum, pH naik mencapai 9–9,5 karena  $\text{CO}_2$  dimanfaatkan dalam proses fotosintesis. Perubahan pH harian yang demikian masih dapat ditoleransi udang. Namun bila pH mencapai lebih dari 10 pergantian air harus dilakukan. Bila kisaran pH harian terlalu lebar, penambahan kapur pada waktu persiapan tambak dapat memperkecil kisaran tersebut.

## PENGGAPURAN

Salah satu sumber kemasaman air tambak adalah tanah dasar. Pelepasan ion hidrogen atau senyawa seperti asam sulfat dan feri hidroksida dari tanah dasar yang teroksidasi mampu menurunkan pH tanah secara drastis. Kejadian di beberapa tambak yang dibangun di daerah tanah masam di Sulawesi Selatan menunjukkan penurunan pH dari 7 sampai 4 dalam waktu kurang dari 12 jam. Perbaikan pH air tanpa perbaikan pH tanah dasar tidak akan berhasil baik.

Kapur merupakan salah satu bahan yang dapat dipergunakan untuk memperbaiki pH tanah secara praktis, aman dan murah. Namun kemurnian dalam kaitan dengan nilai penetral, ukuran butiran dan senyawa kapur sangat berpengaruh terhadap kesanggupan pengkapuran. Kemurnian kapur dapat dihitung dari jumlah kalsium yang terkandung dalam senyawa penyusun batu kapur.

Pada dasarnya kapur terbagi atas lima jenis yaitu kapur pertanian (Agriculture limestone =  $\text{CaCO}_3$ ), kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), basic slag (sisa industri besi) dan kapur cair. Kapur pertanian biasa tidak hanya terdiri dari kalsium dan karbonat saja, tetapi juga mengandung magnesium. Kapur pertanian yang mengandung banyak magnesium disebut dolomite. Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dianggap memiliki nilai penetral ("neutralizing value") 100% yang didasarkan pada reaksi berikut :

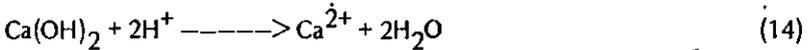


Kalsium oksida ( $\text{CaO}$  = kapur tohor) memiliki nilai penetral lebih tinggi yaitu 179% yang dihitung menggunakan berat molekul sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\text{CaO}}{\text{CaCO}_3} &= \frac{56}{100} = \frac{1}{X} \\ X &= \frac{100}{56} \times 100\% \\ &= 179\% \end{aligned}$$

Catatan : 56 = berat molekul  $\text{CaO}$  dan 100 = berat molekul  $\text{CaCO}_3$ .

Dalam jumlah berat (kg/g) yang sama nilai penetral CaO lebih dari CaCO<sub>3</sub> karena tidak dihasilkan CO<sub>2</sub> dalam reaksi yang terjadi seperti yang digambarkan berikut:



CO<sub>2</sub> seperti yang dihasilkan pada reaksi (12) mampu menurunkan pH air. Dengan cara penghitungan yang sama, nilai penetral dari beberapa senyawa kapur dicantumkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai penetral beberapa senyawa kapur yang diperdagangkan di Indonesia.

Senyawa	Nilai penetral (%)
CaCO <sub>3</sub> (kapur pertanian)	100
CaO (kapur tohor)	179
Ca(OH) <sub>2</sub> (kapur tembok)	135
Ca Mg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (dolomit)	108
Ca Si O <sub>3</sub> (kapur silikat)	86

Nilai penetral senyawa kapur yang tidak diketahui rumus kimianya dapat dihitung dengan cara berikut :

1. Timbang bahan kapur yang sudah digerus sangat halus seberat 500 mg.
2. Campur dengan 25 ml 1.00 N HCl. Panaskan supaya reaksi berlangsung sempurna.
3. Titrasi campuran tersebut dengan 1.00 N NaOH.
4. Hitung volume NaOH yang digunakan. Misalkan 16 ml NaOH terpakai, maka kalsium karbonat yang terkandung dalam senyawa kapur adalah 9 meq (25 ml x 1.00 N HCl - 16 ml x 1.00 NaOH) atau 9 meq x 50 mg/meq CaCO<sub>3</sub> = 450 mg CaCO<sub>3</sub>. Nilai penetral dari senyawa yang dianalisa adalah 450/500 x 100% = 90%.

Dapat dikatakan bahwa makin tinggi nilai penetral suatu senyawa kapur makin rendah jumlah senyawa tersebut yang diperlukan untuk menetralkan derajat kemasaman yang sama. Namun dilapangan pernyataan tersebut tidak selalu

berlaku karena kemampuan senyawa kapur dalam menaikkan-pH juga dipengaruhi ukuran butiran. Makin halus ukuran butiran makin cepat senyawa kapur bereaksi.

Untuk saringan yang biasa digunakan untuk mendapatkan kehalusan butiran dalam pembuatan kapur pertanian terdiri dari 8, 20, dan 60 mesh yang masing-masing memiliki mata saringan 2, 36, 0,85, dan 0,25 mm. Butiran senyawa kapur yang lolos saringan 60 mesh memiliki 100% efisiensi (Tabel 3). Berdasarkan ukuran butiran yang dihasilkan dapat dihitung derajat kesangkilan ("efficiency rating") yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung jumlah kapur yang diperlukan.

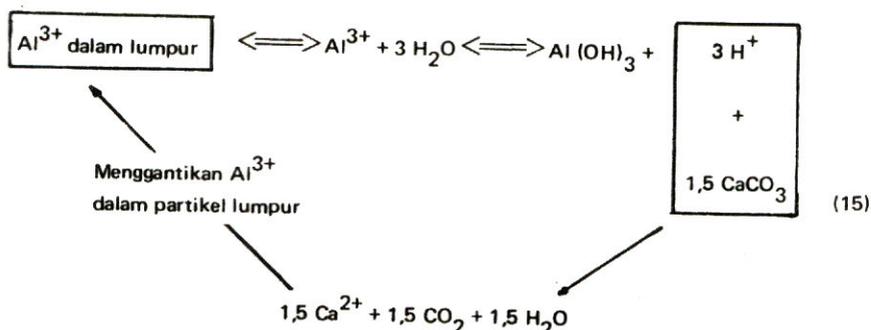
Tabel 3. Ukuran butiran senyawa kapur dan kesangkilan untuk masing-masing ukuran.

Ukuran butiran	Kesangkilan (%)	Komposisi contoh (%)
Lolos 60 mesh	100	50
Lolos 20 mesh, tertahan pada 60 mesh	60	20
Lolos 8 mesh, tertahan pada 20 mesh	20	20
Tertahan pada 8 mesh	0	10

Berdasarkan ukuran butiran, derajat kesangkilan senyawa kapur pada Tabel 3 hanya 66% ( $0,5 \times 100\% + 0,2 \times 60\% + 0,2 \times 20\% + 0,1 \times 0\%$ ).

Bila diperlukan 2000 kg/ha  $\text{CaCO}_3$  dengan nilai penetral 100% dan derajat kesangkilan 100% padahal yang tersedia hanya senyawa kapur dengan nilai penetral 90% dan derajat kesangkilan 66%, maka jumlah senyawa kapur yang harus diberikan adalah 3.367 kg/ha ( $2000 : 0,9 : 0,66$ ). Bila  $\text{CaCO}_3$  yang diperlukan adalah 3000 kg maka jumlah senyawa kapur yang sama yang harus diberikan mencapai 5.050 kg ( $3.000 : 0,9 : 0,66$ ).

Jumlah kapur yang harus diberikan untuk mempertahankan pH air tambak yang optimal bagi udang sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Pengkapuran tambak karena itu harus lebih diarahkan pada pertukaran ion dalam tanah dasar. Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) harus mampu menggeser kedudukan unsur bereaksi masam ( $\text{Al}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ ) dalam partikel tanah. Reaksi 15 menggambarkan bagaimana kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) menggeser aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) dari partikel tanah.



Tekstur tanah menurut Swingle (1947) mempengaruhi jumlah kapur yang harus diberikan. Diperlukan lebih banyak kapur untuk menaikkan pH tanah liat dari pada untuk menaikkan pH pasir (Tabel 4). Selain itu makin rendah pH tanah makin banyak kapur diperlukan.

Tabel 4. Jumlah kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) yang diperlukan (kg/ha) untuk menaikkan pH berbagai jenis tekstur dan pH tanah mencapai 7.

pH lumpur	Tekstur		
	Lempung liat	Pasir berlempung	Pasir
< 4	14.320	7.160	4.475
4,4 – 4,5	10.740	5.370	4.475
4,6 – 5,0	8.950	4.475	3.580
5,1 – 5,5	5.370	3.580	1.790
5,6 – 6,0	3.580	1.790	875
6,1 – 6,5	1.790	1.740	0

Kelemahan Tabel 4 adalah sangat sulit membedakan tanah berdasarkan ketiga takstur di lapangan. Kapasitas Tukar Kation (KTK = CEC) yaitu jumlah nilai equivalent kation/100 g tanah kering dapat digunakan untuk menentukan jumlah kapur yang diperlukan secara lebih cepat.

Kapasitas tukar kation dapat merupakan jumlah "milli equivalent" (meq) dari ion  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , dan  $\text{NH}_4^+$  dalam 100 g contoh tanah.  $\text{Al}^{3+}$  merupakan ion yang menentukan kejenuhan asam ("asid saturation"). Jumlah ion  $\text{Al}^{3+}$  menentukan jumlah  $\text{Ca}^{2+}$  yang diperlukan untuk menaikkan pH tanah. Sebagai contoh, diperlukan lebih banyak  $\text{Ca}^{2+}$  untuk menaikkan pH tanah dengan KTK 100 yang mengandung 80 meq  $\text{Al}^{3+}$  untuk menaikkan pH tanah dengan KTK 5 yang mengandung 1 meq  $\text{Al}^{3+}$  (Boyd, 1982).

Jumlah kapur yang diperlukan dapat dihitung dari kejenuhan asam dan kejenuhan basa ("basic saturation"). Sebagai contoh, 100 g tanah kering mengandung 5 meq  $\text{Ca}^{2+}$ , 2 meq  $\text{Mg}^{2+}$ , 1 meq  $\text{K}^+$ , 1 meq  $\text{Na}^+$ , 0,1 meq  $\text{NH}_4^+$ , dan 4 meq  $\text{Al}^{3+}$ . Penjumlahan kation-kation tersebut menghasilkan KTK 12,5 meq/100 mg ( $5+2+1+1+0,1+4$ ). Kejenuhan asam disebut juga ketidak jenuhan basa ("basic unsaturation") mencapai 32% ( $4 \text{ meq} : 12,5 \text{ meq} \times 100\%$ ) sedang kejenuhan basa mencapai 68% ( $8,35 \text{ meq} : 12,5 \text{ meq} \times 100\%$ ).

Tanah yang memiliki 0,25 ketidak jenuhan basa dan KTK 5 meq/100 g mengandung 1,25 meq  $\text{Al}^{3+}$ /100 g ( $0,25 \times 5 \text{ meq}$ ). pH tanah tersebut biasa mencapai 6,5, cukup baik bagi pH tanah tambak. Untuk menaikkan pH tanah mencapai 6,5 dari 5,0 (tanah dengan ketidak jenuhan basa 0,75) dapat digunakan sejumlah kapur yang dihitung menggunakan rumus langsung sebagai berikut :

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(\text{Ketidak jenuhan awal} - \text{ketidak jenuhan yang diinginkan})}{1} \times \text{KTK}$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(0,75 - 0,25)}{1} \times 5 \text{ meq}/100 \text{ g} = 2,5 \text{ meq}/100 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{atau} &= 2,5 \text{ meq}/100 \text{ g} \times 50 \text{ mg CaCO}_3/\text{meq} \\ &= 125 \text{ mg CaCO}_3/100 \text{ g} \\ &= 1.250 \text{ mg CaCO}_3/\text{kg} \end{aligned}$$

Bobot 1 ha tanah dengari kedalaman 15 cm dapat mencapai  $22 \times 10^6 \text{ kg}$  (2.200. ton). Jadi total kapur yang diperlukan untuk menaikkan pH tanah dari 5 ke 6,5 adalah 2.750 kg ( $1.250 \text{ mg}/\text{kg} \times 2.200.000 \text{ kg} \times 1 \text{ kg}/1.000.000 \text{ mg}$ ). Namun dalam praktek tidak ada  $\text{CaCO}_3$  murni, karena itu ada faktor pengkapuran ("liming factor") yang kisarannya dipengaruhi kemurnian bahan. Untuk senyawa kapur dengan factor pengkapuran 1,5, jumlah senyawa kapur yang diperlukan menjadi 4.125 kg ( $2.750 \text{ kg} \times 1,5$ ).

Tanah tambak yang mengandung pyrit memerlukan jumlah kapur yang lebih banyak dibanding tanah yang tidak mengandung pyrit. Karena itu mengkapuri tanah yang mengandung pyrit tanpa didahului dengan reklamasi (lihat Bab pH) tidak ekonomis. Selain pada tanah yang mengandung pyrit, kapur juga perlu ditambahkan dalam jumlah lebih banyak pada tanah yang mengandung bahan organik tinggi.

Kapur yang ditambahkan pada tanah berbahan organik tinggi dapat mendukung pertumbuhan mikroba pengurai bahan organik dalam tanah. Bahan organik dalam tanah diurai oleh mikroba paling cepat pada pH 8,5 serta suhu

30°C (Tisdale dan Nelson, 1966). Selain pH suhu, perbandingan antara persentase carbon terhadap nitrogen atau disebut C:N ratio juga mempengaruhi penguraian bahan organik.

C:N ratio tambak intensif biasa berkisar 10:1 karena tambak intensif biasa dibangun di atas tanah dengan tingkat kematangan memadai. Pada C:N ratio 10:1 biasa terjadi pelepasan mineral nitrogen yang dapat menyuburkan air pada awal proses pembusukan. Sedang pada C:N ratio lebih dari 30, biasa ditemukan ditanah gambut atau dibawah tegakan hutan mengrove, cenderung terjadi immobilisasi nitrogen pada awal proses dekomposisi. Penambahan nitrogen anorganik seperti urea ditambah kapur sangat berguna untuk menurunkan C:N ratio dan mempercepat pelepasan mineral nitrogen dalam tanah. Penambahan 4000 kg kapur dan 300 kg urea per hektar terbukti mampu memperbaiki reaksi tanah gambut dalam tambak udang di Malili, Sulawesi Selatan (Cholik, Pers comm).

## AMMONIAK

Sumber utama amoniak ( $\text{NH}_3$ ) adalah bahan organik baik dalam bentuk sisa pakan, kotoran udang, maupun dalam bentuk plankton dan bahan organik tersuspensi. Pembusukan bahan organik terutama yang banyak mengandung protein menghasilkan ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan amoniak (Gambar 9). Bila proses lanjut dari pembusukan (nitrifikasi) tidak berlangsung lancar, maka terjadi penumpukan  $\text{NH}_3$  sampai pada konsentrasi yang membahayakan udang.

Menurut Wickins (1985) setiap gram udang windu berbobot 1,6 gram menghasilkan 0,96 mg  $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ /hari sedang yang berukuran 27 gram menghasilkan 0,30 g/hari. Dalam petak tambak yang ditebari 300.000 ekor benur, pada saat udang mencapai ukuran 30 gram dengan kelulusan hidup 75% dihasilkan:

$$0,75 \times 300.000 \text{ ekor} \times \frac{30 \text{ g}}{\text{ekor}} \times \frac{0,30 \text{ mg } \text{NH}_4^+ -\text{N}}{\text{g}} = 2.025 \text{ g } \text{NH}_4^+ -\text{N} \text{ per hari.}$$

Jumlah pakan yang diberikan untuk udang berukuran 30 gram adalah 3% dari berat biomassa. Produksi ammonium dari tiap kilogram sisa pakan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{gram } \text{NH}_4^+ -\text{N}/\text{hari} = (1-\text{PCF}) (\text{PC}/6.25) \times 1.000$$

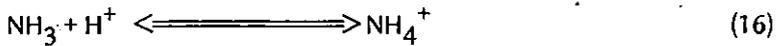
Catatan : PCF = protein conversion factor (0,60 – 0,80)

Untuk tambak yang dicontohkan, produksi ammonium asal pakan (35% protein) per hari menjadi 2.835 gram [ $300.000 \times 0,75 \times 30 \text{ g} \times (1-0,75) \times$

$(0,35/6,25) \times 1.000]$ . Dijumlahkan dengan ammonium yang dihasilkan udang menjadi 4.860 gram (2.025 gram + 2.835 gram). Dalam satu hektar tambak yang dalam airnya satu meter konsentrasi ammonium yang dihasilkan udang dan pakan mencapai 4.860 gram/10.000 m<sup>3</sup> atau sama dengan 0,49 mg/liter.

Karena sulit memisahkan NH<sub>3</sub> dari NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan karena selalu berada dalam kesinambungan maka NH<sub>3</sub> dihitung bersama dengan ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dan disebut ammonia total. Konsentrasi ammonia total di tambak sebaiknya tidak lebih dari 0,5 mg/liter, sedang konsentrasi NH<sub>3</sub> yang aman bagi udang lebih kecil dari 0,1 mg/liter.

Konsentrasi ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dan ammoniak (NH<sub>3</sub>) dalam air dipengaruhi pH dan membentuk keseimbangan seperti pada reaksi :

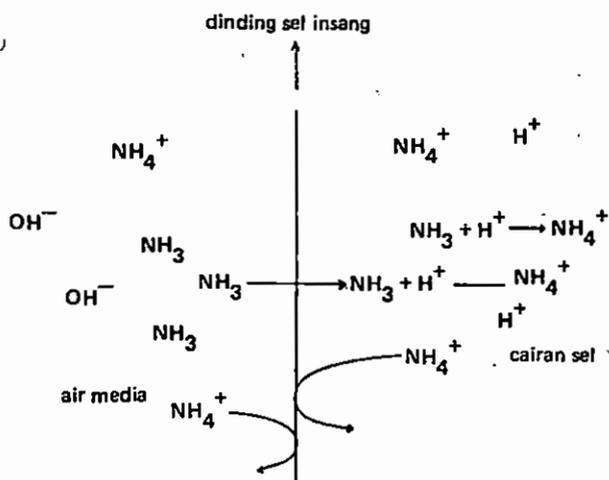


Pada pH rendah reaksi (16) akan mengarah ke pembentukan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Akumulasi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> tidak membahayakan karena NH<sub>4</sub><sup>+</sup> tidak mampu menembus dinding sel insang udang (Gambar 10). Pada pH tinggi reaksi mengarah ke pembentukan NH<sub>3</sub>. Penumpukan NH<sub>3</sub> dalam air selain akan memperlaju penembusan NH<sub>3</sub> juga akan menghambat pengeluaran NH<sub>3</sub> melalui dinding sel insang udang. Akumulasi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam cairan tubuh udang dalam jumlah banyak dapat mengakibatkan kekacauan proses metabolisme yang mengarah pada perlambatan laju bertumbuh atau bahkan kematian. Daya racun NH<sub>3</sub> akan meningkat pada konsentrasi oksigen terlarut rendah. Pada kondisi peubah lain optimal, NH<sub>3</sub> pada 0,5 mg/liter mampu menurunkan laju bertumbuh udang sampai 50%.

Persentase NH<sub>3</sub> dari ammoniak total dipengaruhi suhu dan pH air, makin tinggi suhu dan pH air makin tinggi persentase konsentrasi NH<sub>3</sub>. Dengan kata lain, pejuang udang keracunan NH<sub>3</sub> lebih besar pada suhu dan pH tinggi (Tabel 5). Sebagai contoh, pada pH 8,0 dan suhu 26°C persentase NH<sub>3</sub> hanya 5,71 sedangkan pada pH 9,0 dan suhu 30°C mencapai 44,84 (Boyd, 1979). Di alam, proses perubahan NH<sub>4</sub> menjadi NH<sub>3</sub> dilanjutkan dalam proses yang disebut nitrifikasi.

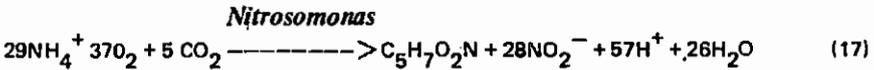
Tabel 5. Persentase amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dalam larutan berbeda pH dan suhu.

pH	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7,0	0,30	0,34	0,40	0,46	0,52	0,60	0,70	0,81	0,95
7,2	0,40	0,54	0,63	0,72	0,82	0,95	1,10	1,27	1,50
7,4	0,74	0,86	0,99	1,14	1,30	1,50	1,73	2,00	2,36
7,6	1,17	1,35	1,56	1,79	2,05	2,35	2,72	3,13	3,69
7,8	1,84	2,12	2,45	2,80	3,21	3,68	4,24	4,88	5,72
8,0	2,88	3,32	3,83	4,37	4,99	5,71	6,55	7,52	8,77
8,2	4,49	5,16	5,94	6,76	7,68	8,75	10,00	11,41	13,22
8,4	6,93	7,94	9,09	10,30	11,65	13,20	14,98	16,96	19,46
8,6	10,56	12,03	13,68	15,40	17,28	19,42	21,83	24,45	27,68
8,8	15,76	17,82	20,08	22,38	24,88	27,64	30,68	33,90	37,76
9,0	22,87	25,57	28,47	31,37	34,42	37,71	41,23	44,84	49,02
9,2	31,97	35,25	38,69	42,01	45,41	48,96	52,65	56,30	60,38
9,4	42,68	46,32	50,00	53,45	56,86	60,33	63,79	67,12	70,72
9,6	54,14	57,77	61,31	64,54	67,63	70,67	73,63	76,39	79,29
9,8	63,17	68,43	71,53	74,25	76,81	79,25	81,57	83,68	85,85
10,0	74,78	77,46	79,92	82,05	84,00	85,82	87,52	89,05	90,58
10,2	82,45	84,48	86,32	87,87	89,27	90,56	91,75	92,80	93,84



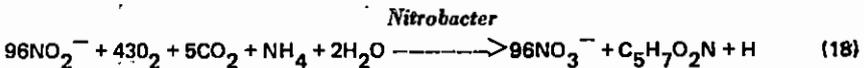
Gambar 10. Proses okumulasi  $\text{NH}_4^+$  dalam sel akibat pelolosan  $\text{NH}_3$  dari air media.

Pada proses awal nitrifikasi, bakteri *Nitrosomonas* mampu mengubah  $\text{NH}_3$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  dalam reaksi :



Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) adalah produk antara dalam proses nitrifikasi yang mampu menimbulkan methemoglobin pada ikan. Methemoglobin (proses oksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  pada hemoglobin atau  $\text{Cu}^{2+}$  pada hemosianin oleh  $\text{NO}_2^-$  sehingga proses pengikatan  $\text{O}_2$  terhambat) mungkin juga terjadi pada udang. Nitrit pada 6,4 mg/liter menurut Wickins (1976) mampu menurunkan laju bertumbuh udang putih sampai 50%, sedang menurut Colt dan Armstrong (1981) nitrit pada 1,8 mg/liter mampu menghambat pertumbuhan udang galah sampai 35%. Larva udang galah tidak mampu bertahan hidup pada konsentrasi nitrit 8,6 mg/liter (Colt dan Armstrong, 1981) namun juwananya mampu bertahan pada 15,4 mg/liter (Wickins, 1976).

Dalam proses lanjut nitrifikasi, nitrit dioksidasi menjadi nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dengan bantuan bakteri *Nitrobacter* sebagai berikut :



Penumpukan  $\text{NO}_2^-$  biasa terjadi bila kondisi perairan tidak mendukung aktivitas *Nitrobacter*. Spotte (1979) melaporkan bahwa nitrifikasi biasa paling cepat terjadi pada suhu 25 – 35°C dan pH 7–8.

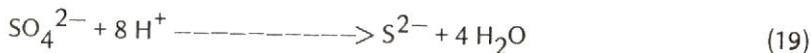
Beberapa bahan yang dewasa ini diperdagangkan untuk mencegah udang keracunan amoniak seperti BN-9 atau BN-12 dan Ammocidin adalah awetan dari bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Penambahan bahan tersebut sebetulnya tidak diperlukan karena baik *Nitrosomonas* maupun *Nitrobacter* secara alamiah terdapat dalam tambak. Selain itu, penambahan bahan organik dalam bentuk pakan mampu meningkatkan jumlah bakteri baik *Nitrosomonas* maupun *Nitrobacter* dalam tambak. Aerasi akan merangsang aktivitas kedua bakteri tersebut karena oksigen diperlukan dalam pembentukan baik  $\text{NO}_2^-$  maupun  $\text{NO}_3^-$ .

Bahan lain yang diperdagangkan sebagai bahan pengurang  $\text{NH}_3$  adalah zeolite, zeokapkan dan healthstone yang biasa digunakan dalam penjernihan air. Setiap gram bahan tersebut dalam kondisi optimal (air bersih dengan pH 7, suhu 20°C dan salinitas 0 ppt) mampu menyerap 9 mg  $\text{NH}_3$ . Namun kondisi optimal seperti yang telah disebutkan tidak akan pernah dijumpai di tambak. Selain itu  $\text{Na}^+$  dari air tambak akan lebih dahulu diserap butiran zeolite sehingga  $\text{NH}_3$  tidak akan lagi dapat diserap.

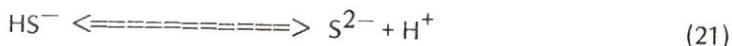
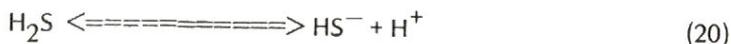
Pergantian air merupakan alternatif lain untuk mengatasi masalah konsentrasi amoniak yang tinggi dalam air tambak. Pola pencampuran masa air laut dapat digunakan untuk menghitung volume air yang harus diganti supaya konsentrasi amoniak tetap berada pada kisaran optimal. Bila dalam satu hari di produksi ammonia 0,49 mg/liter dan tidak ada oksidasi ammonia berlangsung, maka dalam dua hari akan terdapat 0,98 mg dibulatkan menjadi 1 mg/liter ammonia total. Karena konsentrasi ammonia dalam tambak harus dipertahankan pada 0,3 mg/liter maka harus dilakukan penggantian air sesuai pola pencampuran masa air laut (Tabel 7, Bab Kadar Garam).

## ASAM BELERANG

Bahan organik selain dapat menghasilkan ammonia juga memproduksi asam belerang ( $H_2S$ ). Selain itu air laut yang banyak mengandung  $SO_4^{2-}$  di daerah bertanah masam biasa juga memproduksi  $H_2S$ . Beberapa bakteri heterotroph mampu memanfaatkan  $SO_4^{2-}$  dan senyawa sulfat lainnya sebagai akseptor akhir elektron pada proses metabolisme dan menghasilkan belerang (S) seperti tersaji pada reaksi berikut :



Belerang yang dihasilkan adalah bentuk ionisasi dari asam belerang ( $H_2S$ ) yang ada dalam keseimbangan reaksi sebagai berikut :



pH sangat berperan dalam keseimbangan reaksi (20) dan (21). Pada pH rendah  $H_2S$  dominan dan udang keracunan  $H_2S$  biasa terjadi karena  $H_2S$  lebih beracun dari  $HS^-$ . Persentasi  $H_2S$  pada pH 7,0 dan suhu 26°C mencapai 49,7% sedang pada pH 9,0 dan suhu 30°C hanya 0,9% (Boyd, 1982).

Udang biasa keracunan (kehilangan keseimbangan) pada konsentrasi  $H_2S$  0,1 – 0,2 mg/liter dan pada konsentrasi 0,25 mg/liter kematian massal biasa terjadi. Di salah satu daerah tambak di Sulawesi Selatan derajat kelulusan hidup udang dapat mencapai 80% bila  $H_2S$  tidak terdeteksi di dasar tambak. Pada konsentrasi  $H_2S$  0,25 mg/liter di dasar tambak, derajat kelulus hidupan hanya mencapai 40%.

$H_2S$  biasanya dapat dideteksi dari lumpur dasar yang berwarna hitam dan berbau belerang (bau telur busuk). Pergantian air dan pengerikan tanah dasar waktu persiapan adalah cara yang baik untuk menghilangkan pengaruh

$H_2S$ . Suasana aerob di dasar tambak juga dapat mengurangi pengaruh  $H_2S$ . Pada konsentrasi oksigen terlarut tinggi,  $H_2S$  dioksidasi menjadi  $H_2SO_4$ . Aerasi sangat membantu terciptanya suasana aerob di dasar tambak.

## SUHU AIR

Suhu air sangat berkaitan erat dengan konsentrasi oksigen terlarut dalam air dan laju konsumsi oksigen hewan air. Suhu air berbanding terbalik dengan konsentrasi jenuh oksigen terlarut tetapi berbanding lurus dengan laju konsumsi oksigen hewan air dan laju reaksi kimia dalam air.

Pada suhu tinggi, tekanan parsial oksigen dalam udara di atas permukaan air rendah. Akibat lanjutnya adalah konsentrasi jenuh oksigen terlarut dalam air lebih mudah dicapai. Pada suhu  $25^{\circ}C$  untuk air murni konsentrasi oksigen terlarut jenuh mencapai 8,24 mg/liter, sedang pada  $35^{\circ}C$  hanya 6,93 mg/liter (Tabel 6).

Berdasarkan pengamatan di Instalasi Tambak Percobaan Maranak (Sulawesi Selatan), udang windu masih hidup normal pada suhu  $35^{\circ}C$ . Secara teoritis udang masih hidup normal pada kisaran suhu  $30 - 35^{\circ}C$  kalau konsentrasi oksigen terlarut cukup tinggi. Laju konsumsi oksigen per gram bobot tubuh udang pada kisaran suhu tersebut mencapai 3,3 mg/jam.

Suhu air optimal bagi udang terletak antara  $28 - 30^{\circ}C$  dan pada suhu tersebut konsumsi oksigen mencapai 2,2 mg/gram berat tubuh/jam. Di bawah suhu  $25^{\circ}C$  sampai  $18^{\circ}C$  udang masih bertahan hidup tetapi nafsu makannya mulai menurun. Suhu air antara  $12 - 18^{\circ}C$  mulai berbahaya dan pada suhu di bawah  $12^{\circ}C$  udang windu mati kedinginan.

Selain berpengaruh langsung, suhu air juga berpengaruh tidak langsung terhadap udang. Laju reaksi kimia dalam air berlipat dua untuk setiap kenaikan suhu  $10^{\circ}C$  ( $Q_{10} = 2$ ). Pada suhu tinggi yang dibarengi pH tinggi (biasa terjadi di tambak) laju reaksi keseimbangan amoniak lebih cepat sehingga cenderung terjadi peningkatan konsentrasi  $NH_3$  sampai pada konsentrasi yang mempengaruhi pertumbuhan udang.

Pergantian air atau pencampuran air merupakan cara yang dapat dilaksanakan untuk mengurangi pengaruh suhu tinggi. Suhu air tambak cenderung lebih tinggi dari suhu air di laut akibat perbedaan volume. Pergantian air yang diupayakan untuk pengenceran metabolit sekaligus dapat mempengaruhi pengaruh suhu tinggi secara tradisional, petambak biasa membuat caren (bagian tambak sekeliling pematang) yang lebih dalam dari pelataran (bagian tengah tambak) untuk tempat udang atau ikan berlindung dari suhu tinggi.

## KECERAHAN

Kecerahan yang dibahas pada makalah ini mencerminkan jumlah plankton yang ada dalam air. Plankton adalah jasad renik yang melayang dan selalu mengikuti gerak air. Plankton yang mengandung khlorofil dan mampu melakukan fotosintesis disebut fitoplankton. Sedang plankton yang memakan fitoplankton karena tidak mampu melakukan fotosintesis disebut zooplankton. Fitoplankton terdiri dari berbagai jenis yang masing-masing berlainan warna. Warna plankton yang dominan biasa dicerminkan oleh warna air. Bila warna air hijau tua plankton yang dominan adalah *Cyanophyceae*, *Oscillatoria* dan *Anabaena* yang mengandung khlorofil berwarna hijau tua. Warna air hijau muda menunjukkan dominasi Chlorophyta (Poernomo, 1988). Warna air hijau kecoklatan mencerminkan dominasi diatomae dari kelas *Bacillariophyta*. Sedang *Dinoflagellata* memberikan warna-coklat kemerahan pada air. Warna air hijau muda dan coklat muda biasanya lebih baik bagi udang dari warna lain karena mengandung banyak Diatomae dan Chlorophyta.

Dominasi plankton biasa ditentukan oleh perbandingan nitrogen dan fosfor serta salinitas. Chlorophyta yang berwarna hijau biasa mendominasi air bersalinitas rendah. Diatomae yang berwarna kecoklatan biasa mendominasi perairan dengan N:P = 10–20 : 1. Sedang *Dinoflagellata* yang berwarna merah dan dapat mengeluarkan racun tumbuh subur pada perairan dengan N:P di bawah 10:1.

Semua plankton jadi berbahaya kalau kecerahan sudah kurang dari 25 cm kedalaman pinggan Secchi (lihat Bab oksigen terlarut). Kecerahan yang baik bagi usaha budidaya udang berkisar 30 – 40 cm. Bila kecerahan sudah mencapai kedalaman kurang dari 25 cm, pergantian air sebaiknya segera dilakukan sebelum fitoplankton die-off yang diikuti penurunan oksigen terlarut terjadi secara drastis.

## KADAR GARAM (SALINITAS).

Kadar garam biasa juga disebut salinitas, merupakan kandungan berbagai garam terutama garam dapur (NaCl) dalam air laut. Secara lebih terinci kadar garam adalah jumlah garam terlarut dalam garam perliter air (ppt = part per thousand) dengan pradug bahwa semua ion negatif dianggap sebagai chlor ( $\text{Cl}^-$ ) dan ion positif diperhitungkan sebagai natrium ( $\text{Na}^+$ ).

Tabel 6. Konsentrasi jenuh Oksigen terlarut pada berbagai suhu dan kadar garam

Suhu (°C)	Kadar garam (ppt)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14,60	14,11	13,64	13,18	12,74	12,31	11,90	11,50	11,11
1	14,20	13,72	13,27	12,82	12,40	11,98	11,58	11,20	10,82
2	13,81	13,36	12,91	12,49	12,07	11,67	11,29	11,91	10,55
3	13,44	13,00	12,58	12,16	11,76	11,38	11,00	10,64	10,29
4	13,09	12,67	12,25	11,85	11,47	11,09	10,73	10,38	10,04
5	12,76	12,34	11,94	11,56	11,18	10,82	10,47	10,13	9,80
6	12,44	11,04	11,65	11,27	10,91	10,56	10,47	9,98	9,57
7	12,13	11,74	11,36	11,00	10,65	10,31	9,98	9,66	9,35
8	11,83	11,46	11,09	10,74	10,40	10,07	9,75	9,44	9,14
9	11,55	11,18	10,83	10,49	10,16	9,84	9,53	9,23	8,94
10	11,28	10,92	10,58	10,25	9,93	9,62	9,32	9,03	8,75
11	11,02	10,67	10,34	10,02	9,71	9,41	9,12	8,83	8,56
12	10,77	10,43	10,11	9,80	9,50	9,21	8,92	8,65	8,38
13	10,52	10,20	9,89	9,59	9,29	9,01	8,73	8,47	8,21
14	10,29	9,98	9,68	9,38	9,10	8,82	8,55	8,29	8,04
15	10,07	9,77	9,47	9,19	8,91	8,64	8,38	8,13	7,88
16	9,86	9,56	9,28	9,00	8,73	8,47	8,21	7,97	7,73
17	9,65	9,36	9,09	8,82	8,55	8,30	8,05	7,81	7,58
18	9,45	9,17	8,90	8,64	8,38	8,14	7,90	7,66	7,44
19	9,26	8,99	8,73	8,47	8,22	7,98	7,98	7,52	7,30
20	9,08	8,81	8,56	8,31	8,06	7,83	7,60	7,38	7,17
21	8,90	8,64	8,39	8,15	7,91	7,68	7,46	7,25	7,04
22	8,73	8,48	8,23	8,00	7,77	7,54	7,33	7,12	6,91
23	8,56	8,32	8,08	7,85	7,63	7,41	7,20	6,99	6,79
24	8,40	8,16	7,93	7,71	7,49	7,28	7,07	6,87	6,68
25	8,24	8,01	7,79	7,57	7,36	7,15	6,95	6,75	6,56
26	8,09	7,87	7,65	7,44	7,23	7,03	6,83	6,64	6,46
27	7,95	7,73	7,51	7,31	7,10	6,91	6,72	6,53	6,35
28	7,81	7,59	7,38	7,18	6,98	6,79	6,61	6,42	6,25
29	7,67	7,46	7,26	7,06	6,87	6,68	6,50	6,32	6,15
30	7,54	7,33	7,14	6,94	6,75	6,57	6,39	6,22	6,05
31	7,41	7,21	7,02	6,83	6,64	6,26	6,10	5,94	5,78
32	7,29	7,09	6,90	6,72	6,54	6,36	6,19	6,03	5,87
33	7,17	6,98	6,79	6,61	6,43	6,26	6,10	5,94	5,78
34	7,05	6,68	6,68	6,51	6,33	6,17	5,01	5,85	5,69

Suhu (°C)	Kadar garam (ppt)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
35	6,93	6,75	6,58	6,40	6,24	6,07	5,91	5,76	5,61
36	6,82	6,65	6,47	6,31	6,14	5,98	5,83	5,68	5,53
37	6,72	6,54	6,37	6,21	6,05	5,89	5,83	5,68	5,53
38	6,61	6,44	6,28	6,12	5,96	5,81	5,66	5,51	5,37
39	6,51	6,34	6,18	6,02	5,87	5,72	5,58	5,44	5,30
40	6,41	6,25	6,09	5,94	5,79	5,64	5,50	5,36	5,22

Berdasarkan kemampuan menyesuaikan diri terhadap kadar garam, hewan air dapat dikategorikan sebagai **euryhaline** atau **stenohaline**. Hewan euryhaline mampu menyesuaikan diri terhadap rentang kadar garam yang lebar; contoh, ikan bandeng yang dapat hidup di air tawar ( $S = 0$  ppt) maupun asin ( $S = 40-50$  ppt). Sebaliknya hewan stenohaline hanya mampu hidup dalam rentang kadar garam sempit; contoh, lobster yang hanya mampu hidup dalam air laut ( $S = 30 - 32$  ppt).

Udang windu (*Penaeus monodon*) sebenarnya termasuk hewan euryhaline. Namun karena dibudidayakan untuk tujuan komersial, rentang garam optimal perlu dipertahankan. Pada rentang kadar garam optimal (12 – 20 ppt) energi yang digunakan untuk mengatur keseimbangan kepekatan cairan tubuh dan air tambak (osmoregulasi) cukup rendah hingga sebagian besar energi asal pakan dapat dipergunakan untuk bertumbuh.

Pada kadar garam 35 ppt udang windu masih dapat tumbuh normal walaupun lebih lambat dari pada 20 ppt. Kematian biasa mulai terjadi pada kadar garam 50 ppt. Kadar garam rendah pada umumnya tidak mempengaruhi laju pertumbuhan udang windu sehebat kadar garam tinggi. Namun metabolisme pigmen cenderung tidak sempurna sehingga warna udang windu biasa menjadi lebih biru bila dipelihara dalam air berkadar garam rendah.

Laju pertumbuhan udang sangat dipengaruhi frekuensi ganti kulit ("moult = ecdysis"). Sesaat setelah ganti kulit, udang menyerap air untuk mengembungkan tubuh dan mengeraskan kulit (eksoskeleton). Sampai ganti kulit berikutnya ukuran udang tidak berubah, kecuali bobot. Pada kadar garam tinggi proses penyerapan garam dan pengeluaran air terjadi lebih intensif. Pengerasan eksoskeleton pun terjadi lebih sempurna karena khitin kurang larut dalam air garam. Energi yang kurang tersedia (sebagian besar digunakan untuk osmoregulasi) dibarengi eksoskeleton yang lebih keras mengakibatkan udang biasa gagal ganti kulit pada kadar garam tinggi. Akibat lanjutnya, udang tumbuh lebih lambat pada kadar garam tinggi.

Sampai saat ini belum ada cara yang praktis untuk merubah kadar garam air tambak kecuali pergantian air atau penambahan air tawar. Pencampuran air tawar dan air asin biasa menghasilkan kadar garam baru yang dapat dihitung dengan rumus :

$$S_3 = \frac{S_1 M_1 + S_2 M_2}{M_1 + M_2}$$

Catatan :  $S_3$  = kadar garam yang diinginkan (ppt)

$S_2$  = kadar garam air laut (ppt)

$S_1$  = kadar garam air tawar (ppt)

$M_1$  = massa air tawar (M3)

$M_2$  = massa air laut (M3)

Tabel 7 menunjukkan perbandingan air berkadar garam rendah dan air berkadar garam tinggi yang diperlukan untuk memperoleh air dengan kadar garam yang di inginkan. Bila kadar garam air tambak sudah mencapai 20 ppt padahal kadar garam yang diinginkan 16 ppt maka satu per lima bagian air tambak harus diganti dengan air tawar. Dalam hal tidak tersedia air tawar, air berkadar garam 10 ppt juga dapat digunakan, namun volume air yang harus diganti bertambah menjadi dua per lima bagian. Pengukuran kadar garam dapat dilakukan secara praktis di lapangan menggunakan refractometer atau salinometer.

Tabel 7. Perbandingan volume antara berbagai kadar garam untuk mempertahankan kadar garam air tambak optimal (16 ppt)

Kadar garam tinggi (ppt)	Kadar garam rendah (ppt)			
	0	5	10	15
20	1/4	4/11	2/3	4/1
25	9/16	9/11	3/2	9/1
30	7/8	14/11	7/2	14/1
32	1/1	16/11	8/3	16/1
34	9/8	18/11	3/1	18/1
36	5/4	20/11	10/3	20/1
38	11/8	2/1	11/3	22/1
40	3/2	24/11	4/1	24/1
42	13/8	26/11	13/3	26/1
44	7/4	28/11	14/3	28/1
46	15/8	30/11	5/1	30/1
48	2/1	32/11	16/3	32/1
50	17/8	34/11	17/3	34/1

Untuk mengurangi pengaruh kadar garam tinggi yang dapat mengakibatkan kematian massal, peubah mutu air lain harus dipertahankan optimal. Pergantian air secara intensif (walauun kadar garamnya sama) merupakan cara yang paling baik di samping penggunaan alat bantu seperti aerator untuk mempertahankan peubah mutu air yang lain berada pada kisaran konsentrasi optimal.

Pergantian air harus memperhitungkan faktor-faktor seperti intensitas pergantian, lama dan tinggi pasang, kapasitas pompa, penguapan dan perembesan serta curah hujan dan volume tambak. Boyd (1990) mengestimasi derajat pergantian air menggunakan rumus berikut:

$$ER = \frac{[(CPR \times T) + P] - (S + E)}{V} + 100$$

- Catatan : ER = Derajat pergantian, % volume tambak/hari  
 PR = Derajat pemompaan, m<sup>3</sup>/jam  
 T = Waktu pemompaan per hari, jam  
 P = Curah hujan, m<sup>3</sup>/hari  
 S = Perembesan, m<sup>3</sup>/hari  
 E = Penguapan, m<sup>3</sup>/hari  
 V = Volume tambak, m<sup>3</sup>

Menurut Purnomo (1988) pergantian air sebanyak 20% per hari perlu dilakukan bila umur udang sudah mencapai 4 bulan (Tabel 8). Pompa tambak yang lazim digunakan di Indonesia berkapasitas 300 m<sup>3</sup>/jam. Bila diperhitungkan laju penguapan 0,2 cm/hari dan perembesan 0,5 cm/hari dan tidak ada curah hujan maka untuk mengganti air sebanyak 20% di tambah penguapan dan perembesan dari satu ha tambak berkedalaman 1,20 m diperlukan waktu sekitar 8 jam dihitung sebagai berikut:

$$0,2/\text{hari} = \frac{[(300 \text{ m}^3/\text{jam} \times T) + 0] - (50 \text{ m}^3/\text{hari} + 20 \text{ m}^3/\text{hari})}{12.000 \text{ m}^3}$$

$$2.400 \text{ m}^3/\text{hari} + 70 \text{ m}^3/\text{hari} = 300 \text{ m}^3/\text{jam} T$$

$$T = \frac{2.470 \text{ m}^3/\text{hari}}{300 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ = 8,23 \text{ jam/hari}$$

Penggantian air dalam jangka waktu lebih dari empat jam tidak dapat dilaksanakan mengandalkan pasang naik, karena itu sebaiknya dasar pipa pompa diletakkan di tempat yang tetap terjangkau pasang surut.

**Tabel 8. Kebutuhan Air Tawar dari Sumur Bor pada Tambak Udang Semi Intensif**

Umur Udang (bulan)	Kadar garam tambak (o/oo)	Penggantian air/ha/hari			Periode pemom- paan sumur (jam)
		Air asin	Air Tawar	Jumlah	
Ke 1	25	125	625	750 (5)	1,8
2	20	840	990	1.830 (10)	12
3	15	1.125	1.125	2.250 (15)	17
4	15	1.500	1.500	3.000 (20)	22

Angka di dalam kurung menunjukkan persentase penggantian air

### LOGAM BERAT DAN PESTISIDA

Tambak yang dikelola secara intensif biasa mengandalkan air irigasi sebagai air tawar. Air irigasi dapat berasal dari aliran sungai yang mungkin sudah tercemar limbah industri maupun merupakan rangkaian irigasi yang telah melewati sawah yang diolah secara intensif. Logam berat dan residu pestisida yang terkandung dalam sumber air perlu diperhatikan untuk menjamin produk pestisida yang sehat dan bersih sehingga dapat bersaing di pasar internasional. Lebih jauh baik logam berat maupun residu pestisida pada konsentrasi tertentu dapat mengakibatkan kematian massal. Pada Tabel-9 disajikan konsentrasi logam berat yang aman dan dapat mengakibatkan kematian berbagai jenis hewan laut.

**Tabel 9. Konsentrasi logam berat yang lethal bagi hewan laut dan yang disarankan dalam air laut**

Jenis	Kisaran konsentrasi LC-50 (mg/liter)	Konsentrasi yang disarankan (mg/liter)	
		EPA	KLH
Cadmium	0,08 – 0,42	0,010	0,010
Chromium	2,00 – 20,00	0,100	0,010
Tembaga	0,30 – 1,00	0,025	0,06
Timbal	1,00 – 40,00	0,100	0,010
Air raksa	0,01 – 0,04	0,0001	0,003
Seng	1,00 – 10,00	0,100	0,1

Keterangan : LC – 50 = Konsentrasi yang dapat membunuh 50% organisme dalam 96 jam

E P A = Environment Protection Agency, USA

K L H = Kependudukan dan Lingkungan Hidup

Pestisida banyak digunakan untuk pemberantasan hama pertanian dan serangga rumah tangga. Residu dari pestisida yang digunakan sebagian dapat terbuang ke aliran sungai dan bila bersifat akumulasi dapat berakumulasi baik dalam tambak maupun di laut. Konsentrasi beberapa jenis pestisida (Tabel 10) disarankan berada di bawah 0,002 mg/liter, bila perairan akan digunakan untuk usaha budidaya biota laut (anonymous, 1985).

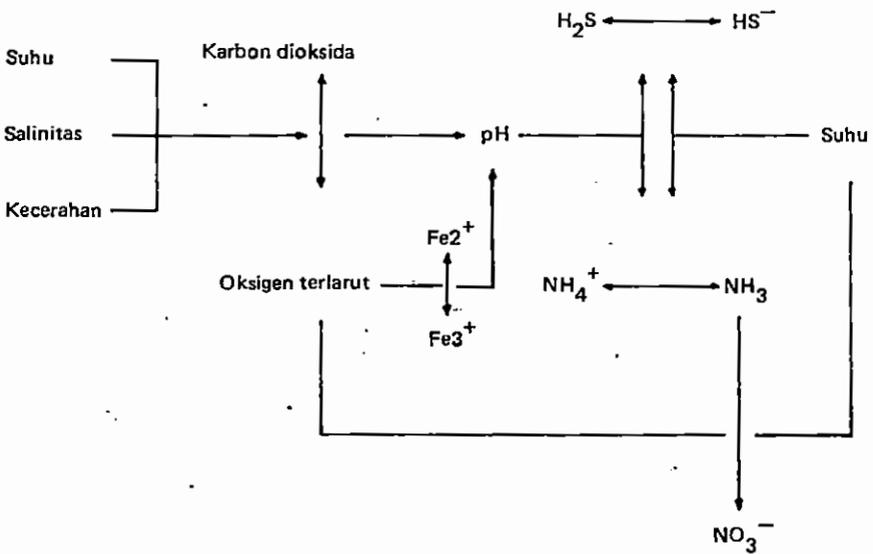
Tabel 10. Konsentrasi residu beberapa jenis pestisida yang membahayakan dan yang disarankan bagi usaha budidaya biota laut.

Jenis	Kisaran 96 jam LC — 50 (mg/liter)	Konsentrasi yang disarankan (mg/liter)	
		EPA	KLH
Aldrin	0,20 — 16	0,003	0,01
Diieldrin	0,20 — 16	0,003	0,05
BHC	0,17 — 240	4	—
Chlordane	5 — 3,000	0,01	0,04
DDT	0,24 — 2	0,001	0,02
Endrine	0,13 — 12	0,004	0,002
Heptachlor	0,10 — 230	0,001	0,01
Toxaphene	1 — 6	0,005	0,01

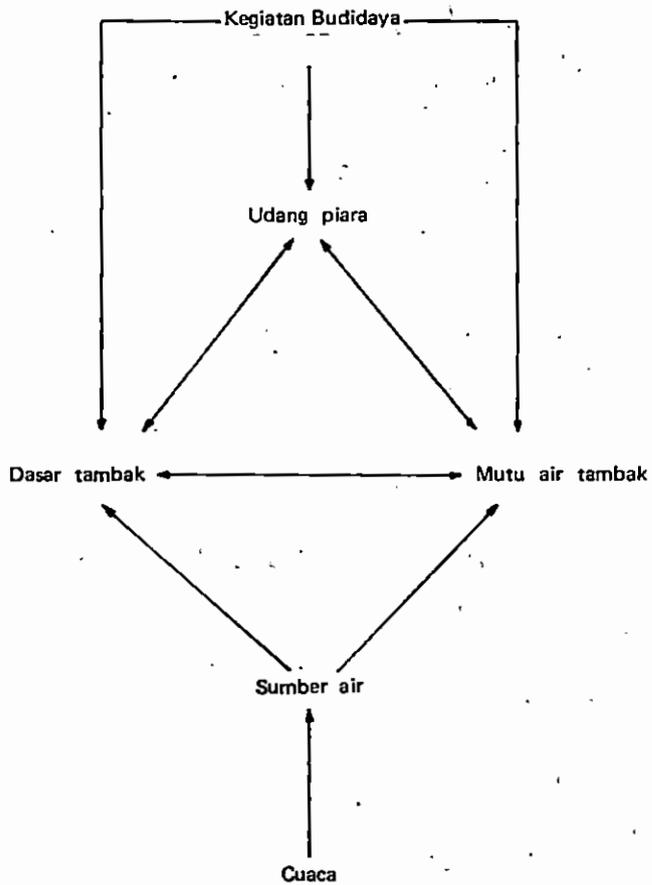
Konsentrasi baik logam berat maupun pestisida yang disarankan Lembaga Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan hidup merupakan konsentrasi yang dibolehkan dan berada diatas konsentrasi yang diinginkan dalam SK Meneg KLH No. Kep-02/MEN KLH/1/1988. Logam berat lebih berbahaya bila berada dalam bentuk ion yang terlarut seperti  $Cu^{2+}$  atau  $Zn^{2+}$  dari pada dalam bentuk adsorpsi, khelat, maupun senyawa. Logam berat dalam bentuk ion bebas sangat sedikit terdapat dalam air tambak karena bahan organik dan lumpur yang ada dapat mengikat logam berat membentuk khelat atau ikatan. Sebagian besar pestisida yang digunakan dewasa ini merupakan bentuk yang mudah terurai, namun tetap sebelum terurai pestisida sangat berbahaya bagi hewan air. Disarankan, lokasi tambak hendaknya tidak berdekatan dengan sawah intensif atau daerah yang merupakan sumber serangga yang berbahaya sehingga mungkin pestisida yang digunakan dalam pemberantasan hama secara massal dapat mencemari tambak secara langsung. Perlu diperhatikan, kaleng-kaleng bekas kemasan pestisida yang digunakan untuk pemberantasan hama tambak yang berserakan disekitar tambak dapat mencemari air tambak.

## PENUTUP

Pengelolaan peubah mutu air tambak selain harus dilakukan dengan memperhatikan peubah yang mutlak penting bagi udang dan yang mempengaruhi peubah lain (Gambar 11) juga harus dilakukan dengan memperhatikan lingkungan tambak termasuk sumber air dan mutu tanah, organisme yang hidup, serta masukan yang diberikan. Gambar 12 merupakan rangkuman bagaimana mutu air tambak di pengaruhi dan mempengaruhi faktor-faktor lain. Lokasi yang tepat dalam arti memiliki tanah dasar dan sumber air yang baik merupakan kunci utama terbentuknya mutu air yang baik bagi udang. Kemudian kegiatan budidaya termasuk padat penebaran dan jumlah pakan perlu diperhitungkan secara cermat sesuai dengan daya dukung tambak. Penebaran tinggi pemberian pakan secara melimpah tanpa memperhitungkan kemampuan tambak mempertahankan kondisi optimal tidak akan menghasilkan produk tinggi atau bahkan dapat merusak kondisi tambak itu sendiri. Diperlukan waktu yang relatif lama untuk memulihkan kondisi tambak yang telah mengalami pencemaran organik tinggi.



Gambar 11. Saling pengaruh antara perubah mutu air dalam tambak yang dikelola secara intensif.



**Gambar 12.** Kaitan peubah mutu air dan faktor-faktor lain yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan air tambak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, T. 1988. Peubah penting mutu air tambak udang. Seminar Budidaya Udang Intensif. Patra Utama, Jakarta..
- and C.E. Boyd. 1988. Design and performance of paddle wheel aerators. *Aquacultural Engineering*, 7:39 – 62.
- Anonymous, 1985. Baku mutu lingkungan hidup, pengendalian pencemaran lingkungan dan analisis mengenai dampak lingkungan. Laporan khusus Asem, I Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup.
- Armstrong, M.S. and C.E. Boyd. 1982. Oxygen transfer calculations for a tractor-powered paddle wheel aerator. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111 : 361 – 366.
- Benfield, L.D. and C.W. Randall. 1980. Biological Process design for wastewater treatment. Prentice. Hall. Inc., Englewood Cliffs, NJ., USA.
- Boyd, C.E. 1989a. Aeration of shrimp ponds. Proceeding of the Southeast Asia Shrimp Farm management Workshop. American Soybean Association: 134 – 140.
- . 1989b. Water quality management and aeration in shrimp farming. American Soybean Association—US Wheat Associates. USA.
- . 1986. A method for testing aerators for fish tanks. *Prog—Fish. Cult.* 48 : 68 – 70.
- . 1983. Theory of aeration. *In*, water quality in channel catfish ponds. Southern Cooperative Series, Bull., 90: 13 – 20.
- . 1982. Water quality management for pond fish culture. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, USA.
- . 1979. Water quality in warmwater fish ponds. Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama, USA.
- . and T. Ahmad. 1986. Evaluation of aerators for channel catfish farming. *Alabama Agric. Exp. Sta. Auburn Univ. Bull.*, 54.
- Cholik, F. 1988. Dasar-dasar bertambak udang intensif. Seminar Budidaya Udang Intensif. Patra Utama, Jakarta.
- Chiang, T.L., 1987. Beberapa masalah budidaya udang windu. Seminar Budidaya Udang Intensif. PT. Kalorin Bahang 1 Jakarta.
- Colt, J.E. and D.A. Armstrong. 1981. Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and moluscs. *Bio-Engineering Sys; Fish Culture*, 1 : 34 – 97.

- Ilyas, S. *et al.* 1978. Petunjuk Teknis bagi pengoperasian unit usaha pembesaran udang windu. Seri Pengembangan Hasil Penelitian Perikanan No. PHP/KAN/02/1987. Badan Penelitian dan Pengembangan Perikanan.
- Petrille, J., and C.E. Boyd. 1983. Correction for calculating oxygen transfer rates and water recirculation capabilities of emergency aerators for fish ponds. *Aquaculture* 37 : 377 – 386.
- Poernomo, A. 1979. Shrimp culture in the brackishwater ponds. Lembaga Oceanologi Nasional (LON), LIPI, Jakarta : 77 – 178.
- . 1986. Paket teknologi perbaikan tanah masam di tambak. *Jurnal Penelitian Litbang Pertanian* V (4) : 100 – 103.
- . 1988a. Pembuatan tambak udang di Indonesia. Departemen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai, Maros.
- . 1988b. Faktor lingkungan dominan pada budidaya udang intensif. Seminar Budidaya Udang Intensif. Patra Utama, Jakarta.
- Romaire, R. P. and C.E. Boyd, 1978. Predicting night time oxygen depletion in catfish ponds. Auburn University Agricultural Experiment Stations, Auburn, Alabama, Bulletin 505.
- . 1979. Effect of solar radiation on the dynamics of dissolved oxygen in channel catfish ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 108: 473 – 478.
- . and W.J. Collins. 1978. Predicting nighttime dissolved oxygen decline in ponds used for tilapia culture. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 107 : 804 – 808.
- Shelton, J.T. and C.E. Boyd. 1983. Correction for calculating oxygen transfer rates of pond aerators. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 112: 120 – 122.
- Spotte, S.H., 1979. *Fish and invertebrate culture*. Wiley. Interscience, New York.
- Swingle, H.S. 1947. Experiments on pond fertilization. A.P.I (Ala). *Agr. Exp. Sta. Bull.* 264.
- Tisdale, S.L and W.L. Nelson. 1966. *Soil fertility and fertilizers*. Mac Millan Publishing Co., Inc. New York.
- Wickins, J.F. 1976. Prawn biology and culture. *Ocean. Mar. Bion. Ann. Rev.* (14) : 435 – 507.
- Wickins, J.F. 1985. Ammonia production and oxidation during the culture of marine prawn and lobsters in laboratory recirculation system. *Awc. Eng.*, 4 : 155 – 174.

## DAFTAR PUBLIKASI INFIS MANUAL

- Seri no. 1, 1989 : Petunjuk Dalam Perkembangbiakan Udang Putih (Banana Prawn), diterjemahkan oleh Ir. Iin S. Djunaidah dan Muh. Syahrul Latief, BBAP Jepara.
- Seri no. 2, 1989 : Paket Teknologi Pembenihan Udang Skala Rumah Tangga oleh Dr. Ir. Made L. Nurdjana, Ir. Iin S. Djunaidah dan Ir. Bambang Sumartono, BBAP Jepara.
- Seri no. 3, 1989 : Pengelolaan Air di Tambak, oleh Ir. Bambang S. Ranoe-mihardjo, BBAP Jepara (saat ini di BKPI/SUPM Tegal).
- Seri No. 4, 1989 : Budidaya Ikan Kerapu di Kurungan Apung, oleh Ir. Nugroho Aji, Ir. Muhammad Murdjani, M.Sc dan Drs. Notowinarto, BBL Lampung.
- Seri no. 5, 1989 : Teknologi Penangkapan Ikan Tuna, oleh Ir. A. Farid, Ir. Fauzi, Ir. Nur Bambang, Fachrudin dan Sugiono, BPPI Semarang.
- Seri no. 6, 1989 : Pengolahan Ikan Bandeng Asap Dengan Menggunakan Almari Pengasap (Smoking Cabinet), oleh Iskandar Ismanadji, BBPMHP Jakarta.
- Seri no. 7, 1989 : Pengolahan Paha Kodok Untuk Tujuan Ekspor (Processing of Froglegs for Export), diterjemahkan oleh Ir. Nazori Dazuli dan Ir. Iskandar Ismanadji, BBPMHP Jakarta.
- Seri no. 8, 1989 : Petunjuk Teknis Budidaya Bekicot, oleh Ir. Joko Martoyo SM dan Ir. Winarlin, Dit Bina Sumber Hayati, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.
- Seri no. 9, 1989 : Pembenihan Kakap Putih (*Lates calcarifer*) di Unit Hatchery, diterjemahkan oleh Drs. Hardjono, M.Aq, MMA dan Ir. Sri Atmini, Dit Bina Sumber Hayati, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.
- Seri no. 10, 1989 : Pengaruh Substrat dan Pakan Yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan dan Kelulusan Hidup Pascalarva Udang Windu Produksi Pembenihan, oleh Budiono Martosudarmo, M.Sc, BBAP Jepara (saat ini di Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta).

- Seri no. 11, 1990 : Budidaya Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk), oleh Ir. Herman Arsyad dan Soleh Samsi, M.Sc, Dit Bina Produksi, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.
- Seri no. 12, 1990 : Pematangan Kelamin Secara Buatan dan Pemeliharaan Larva Kakap Putih (*Lates calcarifer* Bloch) di Unit Pembenihan, diterjemahkan oleh Ir. Kurniastuty dan Yuwana Puja, BBL Lampung.
- Seri no. 13, 1990 : Pembangunan Kapal Kayu (Wooden Boat Construction), oleh Saut Tampubolon, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.
- Seri no. 14, 1990 : Penanggulangan Hama Penyakit di Tambak, oleh Dra. Ny. S. Rachmatun Suyanto dan Dadang Iskandar, B.Sc, Diklat AUP Jakarta (Cetak Ulang no. 1, 1985).
- Seri no. 15, 1991 : Budidaya Ikan di Keramba Skala Kecil di Daerah Oklahoma, diterjemahkan oleh Ir. Yanti Suryati, Wardana Ismail, B.Sc, dan Ir. Bambang Priono, Puslitbang Perikanan, Jakarta.
- Seri no. 16, 1991 : Pengelolaan Kualitas Air Kolam Ikan, diterjemahkan oleh Dr. Ir. Fuad Cholik, Ir. Artati dan Ir. Rachmat Arifudin, Puslitbang Perikanan, Jakarta (Cetak Ulang no. 36, 1986).
- Seri no. 17, 1991 : Economic Efficiency Approach Dalam Usaha Perikanan Tuna Longline, oleh Ir. Purwanto Partoseputro, MS, Dit. Bina Penyuluhan, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.
- Seri no. 18, 1991 : Kultur Makanan Alami, oleh Ir. Sri Hartati Suprayitno, BBAT Sukabumi, saat ini Kepala Dinas Perikanan D.I. Yogyakarta (Cetak Ulang no. 34, 1986).
- Seri no. 19, 1991 : Semi Intensive Prawn Culture/Budidaya Udang Semi Intensif, diterjemahkan oleh Dra. Ny. S. Rachmatun Suyanto, Diklat AUP, Jakarta (Cetak Ulang no. 33, 1986).
- Seri no. 20, 1991 : Induk Udang Windu, diterjemahkan oleh Ir. Irzal Bachtar, Dit. Bina Penyuluhan, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta (Cetak Ulang no. 46, 1987).
- Seri no. 21, 1991 : Pengendalian Penyakit Pada Pembenihan Udang Windu, oleh Drs. Arief Taslihan, Ir. Bambang Sumartono dan Ir. IBM. Suastika Jaya, BBAP Jebara.

- Seri no. 22, 1991 : "Fish Handling, Marketing and Distribution"/Penanganan Ikan Pada Pasca Panen, Pemasaran dan Distribusi, diterjemahkan oleh Ir. Bambang S. Ranoemihardjo, dan Ir. Soeyanto Sea, M.Ed., BKPI Tegal.
- Seri no. 23, 1991 : Peningkatan Produksi Budidaya Udang Windu (*P. monodon* Fab.) Semi Intensif, disusun oleh Drs. Busman Saleh, Ir. Zaenal Arifin dan Drs. Dwi Sulistinarto, BBAP Jepara.
- Seri no. 24, 1991 : "Manual on Floating Netcage Fish Farming in Singapore's Coastal Waters"/Petunjuk Budidaya Ikan di Jaringan Apung di Perairan Pantai Singapura, diterjemahkan oleh Ir. Agus A. Budhiman, MAq dan Ir. Rina E. Hadirini, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.