

**TEKNIK PENGELOLAAN KUALITAS AIR
BUDIDAYA PERIKANAN PADA
ERA INDUSTRIALISASI**

OLEH :

SYAFRIADIMAN

**PIDATO PENGUKUHAN GURU BESAR TETAP
BIDANG MANAJEMEN KUALITAS AIR**

**JURUSAN BUDIDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS RIAU
PEKANBARU
Sabtu, 15 Agustus 2009**

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,
Salam Sejahtera,

Yang terhormat :

- ✓ Bapak Gubernur Provinsi Riau
- ✓ Bapak-bapak Bupati dan Wali Kota yang hadir pada kesempatan ini
- ✓ Ketua, Sekretaris dan para Anggota Senat Universitas Riau
- ✓ Para Guru Besar Universitas Riau
- ✓ Bapak Rektor dan para Pembantu Rektor Universitas Riau
- ✓ Bapak Dekan dan Pembantu Dekan di Lingkungan Universitas Riau
- ✓ Bapak Pimpinan Lembaga/Pusat/Unit di Lingkungan Universitas Riau
- ✓ Bapak-bapak Dosen dan segenap Civitas Akademika Universitas Riau
- ✓ Para Tamu, Undangan, Ilmuwan, Sahabat dan Handaitaulan serta Keluarga yang Saya muliakan.

Pertama-tama marilah kita memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayahNya jualah kita pada hari ini semua dapat menghadiri Rapat Senat Terbuka Universitas Riau dalam rangka pengukuhan Saya sebagai Guru Besar (Professor) dalam bidang Manajemen Kualitas Air. Shalawat dan Salam, marilah kita kirimkan kepada Junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW beserta Keluarga dan para Sahabatnya. Alohmma shalli 'ala Muhammad, Wa 'ala ali Muhammad !

Setiap orang pasti sudah mengetahui bahwa air sangat penting untuk kehidupan, baik untuk kehidupan manusia maupun organisme. Di dalam tubuh manusia maupun organisme, air dapat berfungsi untuk proses pencernaan, metabolisme, pengangkutan zat-zat makanan, mengatur keseimbangan suhu dan menjaga jangan sampai tubuh kekeringan. Bilamana tubuh kehilangan banyak air (dehidrasi) akan dapat menyebabkan kematian. Secara kuantitas, air sangat banyak digunakan untuk keperluan hidup dan kehidupan sesuai dengan

peruntukannya, baik sebagai air minum, kebutuhan dalam rumah tangga, pertanian, media budidaya, media penularan penyakit, pathogenic dan non pathogenic organisme, breeding places vector, pelarut bahan-bahan kimia toksit (beracun) dan sebagainya. Sehingga dinotasikan bahwa tidak ada air tidak ada kehidupan, begitu pentingnya air.

Pengelolaan kualitas air untuk kegiatan budidaya perikanan dulunya lebih menekankan kepada wadah atau tempat budidaya itu sendiri, baik itu berupa kolam, tambak, keramba, jaring apung, maupun bak-bak budidaya. Akan tetapi, dalam era industrialisasi telah terjadi penurunan kualitas air atau pencemaran perairan, akibat sungai, danau, pantai dan laut telah dijadikan sebagai tong pembuangan limbah industri yang ada di sekitarnya, sehingga menimbulkan pencemaran perairan. Akibatnya, berbagai pihak menuntut keadilan terhadap pihak perusahaan, khususnya para nelayan dan petani ikan yang melihat langsung terjadinya kematian ikan-ikan di perairan dan di dalam wadah-wadah budidaya yang sumber airnya dari perairan tercemar industri tersebut.

Oleh karena itu, orasi ilmiah ini akan menjelaskan prinsip-rinsip dasar pengelolaan kualitas air yang kemudian dilanjutkan dengan teknik-teknik pengelolaan kualitas air tercemar untuk usaha budidaya perikanan dalam era industrialisasi yang tengah berkembang pesat saat ini. Prosedur-prosedur yang digunakan untuk teknik pengelolaan kualitas air tercemar diperoleh terutama dari hasil-hasil penelitian penulis dan dari berbagai disiplin ilmu terutama dari Ilmu tanah pertanian (Agronomi), kimia dasar dan sebagainya kemudian diterapkan sebagai teknik untuk memelihara, mempertahankan dan memperbaiki pengelolaan kualitas air dalam bidang budidaya perikanan, maka perkenankanlah Saya untuk menyampaikan Pidato Pengukuhan Saya sebagai Guru Besar Tetap Dalam Bidang Manajemen Kualitas Air di hadapan Sidang Senat Terbuka Universitas Riau, dengan Judul Teknik Pengelolaan Kualitas Air Budidaya Perikanan Pada Era Industrialisasi.

Pekanbaru, 15 Agustus 2009.

d t o

Prof. Dr. Syafriadiman

3

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR (iii)

DAFTAR ISI (v)

1. PENDAHULUAN (1)

2. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KUALITAS AIR (5)

2.1. Faktor Fisika (5)

2.2. Faktor Kimia (6)

2.3. Faktor Biologi (10)

3. PRINSIP DASAR PENGELOLAAN KUALITAS AIR (13)

3.1. Pengapuran (Liming) (13)

3.2. Pemupukan (Fertilization) (20)

3.3. Teknik Aerasi (36)

4. PENGELOLAAN KUALITAS AIR TERCEMAR (38)

4.1. Pemantauan kualitas air (39)

4.2. Penentuan Batas Aman Biologi (Biological Safety Level) Pollutan (40)

4.3. Teknik Pengelolaan Air Tercemar Dalam Perairan (41)

4.4. Mekanisme Proses Bioabsorpsi (47)

5. PENUTUP (52)

DAFTAR PUSTAKA (54)

UCAPAN TERIMAKASIH (59)

RIWAYAT HIDUP (65)

RINGKASAN PIDATO (80)

1. PENDAHULUAN

Tanpa air mustahil ada kehidupan, begitu pentingnya air. Untuk itu kualitas air perlu dipertahankan sesuai dengan peruntukannya, khususnya bagi kehidupan organisme budidaya perairan. Pengaruh berbagai faktor (fisika, kimia dan biologi) air sangat mudah terpengaruh, sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan komposisi air dari H_2O menjadi $H_2O + X$ (dimana X adalah jumlah pertambahan komposisi air akibat masuknya bahan-bahan asing dalam interval waktu tertentu). Dalam era industrialisasi saat ini, jumlah pertambahan komposisi air alami (X) meningkat drastis akibat sungai, danau, pantai dan laut telah dijadikan sebagai tong pembuangan limbah industri yang ada di sekitarnya. Perubahan komposisi air alami ini seiring dengan waktu tentu lambat laun tanpa disadari jumlahnya akan bertambah terus sebagai puncak penyebab terjadinya pencemaran perairan.

Di Provinsi Riau, industri-industri yang berkembang saat ini adalah industri *crumb rubber*, *pulp and paper*, pengilangan minyak sawit, pelapisan krom dan nikel, dan minyak bumi sebagai pemicu terjadinya pencemaran lingkungan perairan di negeri ini. Berbagai media massa dan referensi ilmiah melaporkan bahwa beberapa sungai di Riau telah tercemar dan banyak ikan yang mati. Berbagai pihak menuntut keadilan terhadap pihak perusahaan, sehingga banyak pula terungkap kerugian-kerugian yang dialami khususnya dalam bidang perikanan terutama kematian ikan-ikan budidaya.

Selanjutnya, akibat pencemaran ini banyak pula usaha-usaha budidaya yang ditutup atau tertinggal tidak diusahakan lagi. Ini jelas disebabkan oleh belum adanya teknik pengelolaan kualitas air tercemar secara khusus untuk kegiatan budidaya perikanan. Dulunya pengelolaan kualitas air lebih menekankan kepada wadah atau tempat budidaya itu sendiri, baik itu berupa kolam, tambak, keramba, jaring apung, maupun bak-bak budidaya. Akan tetapi, dalam era industrialisasi telah menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air atau pencemaran perairan yang menyebabkan kerusakan lingkungan perairan, khususnya sungai, danau, tasik dan pantai sebagai tempat atau sumber air budidaya perikanan. Pola pikir pengelolaan kualitas air yang akan dibahas dalam orasi ilmiah ini seperti tertuang pada bagan Gambar 1.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air yang harus dikelola untuk budidaya perikanan adalah faktor fisika, kimia dan biologi. Walaupun demikian, namun kunci utama yang harus diperhatikan dalam pengelolaan kualitas air adalah adanya keseimbangan ekologi dan jenis organisme yang akan dipelihara.

Penelitian-penelitian tentang penyempurnaan prosedur pengelolaan kualitas air telah sering dilakukan, khususnya pada usaha-usaha budidaya perikanan, seperti pada unit-unit percobaan yang mempunyai luas, kedalaman dan sumber air yang sama, sehingga bila prosedur yang sudah dianggap baik itu dilakukan pada wadah budidaya yang keadaannya berbeda, maka hasilnya juga akan kurang sesuai dengan apa yang diharapkan. Banyak para ahli menginginkan prosedur serta teknik yang diperoleh agar dapat diberlakukan secara umum, artinya dapat diterapkan di mana saja, namun hal itu sulit untuk dicapai.

Pupuk anorganik cukup efektif digunakan untuk meningkatkan populasi ikan-ikan pancingan di Amerika Selatan, namun terjadi sebaliknya bahwa penggunaan pupuk tersebut di Amerika Utara sering menyebabkan kematian ikan khususnya pada musim dingin. Ini menunjukkan bahwa pupuk yang telah dianggap efektif di suatu daerah tetapi belum tentu efektif diterapkan di daerah lain. Pemupukan cukup efektif pada kolam-kolam yang memiliki alkalinitas sedang, tetapi tidak efektif pada kolam-kolam yang hardnessnya rendah dan bersifat asam seperti kolam-kolam di tanah gambut. Beberapa perlakuan tertentu telah ditemukan sangat efektif untuk meningkatkan kualitas air, namun biayanya terlalu mahal. Seperti penggunaan alum sangat baik untuk mengendapkan suspensi partikel lumpur dalam air untuk kolam yang luasnya sekitar 0,5 - 1,0 ha, tetapi penggunaan ini cukup mahal digunakan untuk menjernihkan sumber air kolam budidaya yang cukup luas.

Banyak orang beranggapan bahwa pengelolaan kualitas air tidaklah begitu sulit karena sepintas pengelolaan kualitas air itu kelihatannya mudah. Seperti pengelolaan kualitas air kolam yang pH airnya rendah ($\text{pH} < 5$) dapat diperbaiki dengan pengapuran. Air kolam keruh disebabkan lumpur dapat dijernihkan dengan pemberian kapur, alum ataupun bahan organik seperti jerami. Kepadatan fitoplankton yang tinggi dapat dikurangi dengan pemberian

KMnO₄, CuSO₄ atau herbicide/algicide seperti cutrine, karmex, aquazine, simazine dan lain sebagainya. Kandungan oksigen terlarut yang rendah dapat ditingkatkan dengan memberikan aerasi atau dengan mengadakan pergantian air. Produktifitas kolam yang rendah padahal pHnya telah melebihi 6 dan kesadahan airnya juga sudah melebihi 20 ppm dapat ditingkatkan dengan pemupukan. Sedangkan daya dukung kolam yang rendah dapat ditingkatkan dengan menambah padat tebar ikan dan pemberian makanan tambahan yang cukup. Memang pengelolaan kualitas air seperti yang telah dijelaskan terasa mudah, namun dalam kenyataanya tidak semudah itu. Perlu banyak pengalaman di lapangan, karena terlalu banyak faktor yang dapat mempengaruhi kualitas air tersebut, terutama faktor luar yang tak mudah dikontrol dan tiap faktor dapat saling mempengaruhi, sehingga sulit diduga faktor mana sesungguhnya yang sangat berperan.

2. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KUALITAS AIR

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air secara umum dapat digolongkan ke dalam 3 faktor yaitu faktor fisika (physical factors), kimia (chemical factors) dan biologi (biological factors).

2.1. Faktor Fisika

Faktor-faktor fisika yang dapat mempengaruhi kualitas air terutama adalah cahaya, suhu, densitas air (berat jenis air = BJ), kekeruhan, kecerahan, dan warna air, salinitas dan daya hantar listrik (DHL).

Sebagai akibat terjadinya penyerapan dan penyebaran cahaya/sinar-sinar ini, dapat menimbulkan 2 jenis stratifikasi dalam kolom air, yaitu (1) stratifikasi cahaya (Euphotic zone, Disphotic zone dan Aphotic zone) dan (2) suhu (Epilimnion, metalimnion dan hypolimnion). Sifat-sifat euphotic zone ini terutama adalah mempunyai cahaya yang cukup banyak, terjadi proses fotosintesa dan hasil fotosintesis lebih besar dari respirasi. Di disphotic zone juga terjadi proses fotosintesa, namun sangat lemah dan di lapisan ini akan dijumpai titik/lapisan tipis di mana jumlah sinar yang jatuh hanya tinggal 1% dari jumlah sinar yang sampai di permukaan air. Titik ini disebut titik kompensasi (*compensation point*) dengan keistimewaan di mana fotosintesis sama dengan respirasi. Aphotic zone disebut juga dengan zone gelap. Zone ini tidak ada sinar matahari, tidak terjadi peristiwa fotosintesa. Jelas, bahwa di zone ini nilai fotosintesis lebih kecil berbanding respirasi.

Suhu pada Epilimnion relatif tinggi dan proses metabolisme relatif lebih cepat. Setiap kenaikan temperatur 10°C , kecepatan metabolisme meningkat dua kali, artinya kebutuhan O_2 untuk proses metabolisme meningkat pula dua kali. Metalimnion (thermocline) merupakan tempat sebagai lapisan terjadinya perubahan temperatur di kolom air relatif tinggi bila dibandingkan dengan perubahan kedalaman yang relatif rendah. Organisme relatif banyak berkumpul di daerah ini (plankton, ikan-ikan kecil). Sedangkan hypolimnion merupakan lapisan kolom air terbawah yang temperaturnya relatif lebih rendah dari lapisan di atasnya.

Densitas atau berat jenis air murni paling tinggi pada temperatur 4°C dan tekanan 1 atm adalah 1. Peningkatan dan penurunan suhu dari 4°C maka densitas atau berat jenis air akan menurun. Air yang membeku (es) pada suhu 0°C akan mengapung di atas air 4°C. Di daerah subtropis ataupun beriklim dingin organisme air tetap dapat hidup di dalam kolom air di bawah es yang membeku. Kekeruhan, kecerahan dan warna air dapat mempengaruhi kehidupan organisme. Terhalangnya cahaya hingga fotosintesis terganggu, dan kekeruhan oleh lumpur dapat mengganggu alat pernapasan ikan. Kekeruhan, kejernihan dan warna air dipengaruhi oleh adanya bahan-bahan yang tersuspensi baik organik (plankton, bakteri, ataupun detritus) maupun anorganik (koloid lumpur), serta bahan-bahan terlarut baik organik (gula, protein, urea, tanin, asam humus maupun bahan anorganik (unsur hara, mineral). Warna air dapat menentukan kesuburan suatu perairan. Air yang keruh berwarna hijau oleh fitoplankton lebih subur (lebih produktif) dari air keruh berwarna coklat oleh lumpur dan asam humus. Umumnya air di alam mengandung sebagian dari unsur-unsur/bahan-bahan seperti (1) Gas-gas terlarut/bebas : N₂, H₂, O₂, CH₄, NH₃, H₂S, helium, argon, CO₂ atau N₂O, (2) Mineral : Ca, Mg, N, P, K, Si, Zn, Ba, Fe, Na, Pb, (3) Bahan tersuspensi (POM, TPM, PAOM), dan (3) Bahan terlarut organik & anorganik (TDS, VS, AVS)

Salinitas adalah sejumlah zat padat yang terkandung dalam air dimana unsur-unsur halogen (Cl, F, I, dan Br) dianggap sebagai chlor (Cl) dan semua karbonat telah dioksidasi sempurna dan dinyatakan dalam ppt (permil), sedangkan DHL (Daya Hantar Listrik) adalah kemampuan air untuk menghantar aliran. Salinitas erat kaitannya dengan DHL, karena semakin tinggi salinitas maka DHLnya juga akan meningkat.

2.2. Faktor Kimia

Faktor kimia yang dapat mempengaruhi kualitas air terutama adalah Alkalinitas, Kesadahan, pH, DO, COD, nitrat, nitrit, fosfat, amoniak dan sebagainya. Alkalinitas merupakan kumpulan anion di dalam air yang menggambarkan kapasitas air sebagai buffer. Satuan alkalinitas dalam mg/L yang dinyatakan ekuivalen dengan CaCO₃. Semakin sadah air maka akan semakin baik kolam/tambak tersebut untuk pemeliharaan ikan. Nilai kesadahan

optimal untuk udang 120 mg/L. Peningkatan kandungan CO₂ di dalam air kolam/tambak dapat menyebabkan kematian ikan karena CO₂ yang tinggi adalah racun bagi ikan. Sedangkan peningkatan kandungan CO₂ bebas dalam air kolam/tambak budidaya perikanan akan menurunkan nilai pH air. Artinya semakin tinggi CO₂ maka akan semakin tinggi keasamannya dan pH semakin rendah menyebabkan alkalinitasnya semakin rendah. Jadi CO₂ sangat erat kaitannya dengan pH maupun alkalinitas air.

Kesadahan Total (dalam air tawar) merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan proporsi ion Magnesium dan Calcium. Parameter ini diukur untuk membuat kondisi kolam/tambak seperti lingkungan alaminya. Untuk air tawar, total kesadahan harus terletak di antara 5-20 ppm, sementara untuk nilai yang idealnya adalah lebih tinggi. Kesadahan hampir tidak berhubungan langsung dengan ikan budidaya yang dipelihara baik di kolam maupun dalam tambak, namun hardness sangat mempengaruhi adanya unsur-unsur hara yang diperlukan oleh fitoplankton sebagai produser primer. Misalnya kelarutan fosfat. Fosfat akan tersedia/terlarut di dalam air apabila kesadahannya di atas 20 ppm. Berdasarkan besarnya kandungan ion Ca²⁺ ataupun ion Mg²⁺, maka dikenal Air lunak hardnessnya berkisar antara 0-75 ppm, Air medium 75-150 ppm, Air keras 150-300 ppm, dan Air sangat keras > 300 ppm (Syafriadiman *et al.*, 2005).

Oksigen terlarut merupakan parameter yang sangat penting dalam kehidupan setiap organisme yang hidup. Setiap organisme hidup pasti membutuhkan oksigen untuk respirasi dan akan digunakan dalam proses metabolisme untuk merombak bahan organik yang dimakan menjadi sari makanan yang dimanfaatkan sebagai energi untuk tumbuh berkembang dan bergerak serta CO₂ dan H₂O sebagai hasil akhirnya/buangannya. DO yang ideal untuk pertumbuhan dan perkembangan organisme yang dipelihara adalah di atas 5 ppm. Ikan akan mati bila dibiarkan lama pada DO dibawah 1 ppm dan ikan akan dapat hidup, namun pertumbuhannya lambat bila dipelihara dalam kolam yang DO nya berkisar antara 1-3 ppm. Besarnya kandungan oksigen terlarut di dalam air dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain cuaca, kepadatan fitoplankton, siang dan malam dan dinamika kehidupan organisme yang ada didalamnya.

Nitrogen merupakan unsur hara yang mutlak diperlukan oleh fitoplankton. Karena keberadaannya dalam air terbatas (*limiting factor*), maka unsur ini menjadi sangat penting untuk dibahas. Nitrogen dalam air ada dalam berbagai bentuk N bervalensi -3 dan $+5$. Bentuk-bentuk N yang langsung dimanfaatkan fitoplankton adalah N_2 , NO_3^- , dan NH_4^+ . Ammonia dalam air dapat berbentuk ion ammonium (NH_4^+) dan gas ammoniak (NH_3). Kedua bentuk ammonia diukur sebagai total ammonia. Ammonium dapat terbentuk melalui penguraian protein dan arus air limbah yang mengandung Nitrogen. Ammonium bebas bersifat racun bagi ikan, konsentrasi $> 0,2$ ppm dapat menyebabkan kerusakan terhadap anak-anak ikan dan $> 0,3$ ppm merusak ikan-ikan yang lebih besar, sedangkan pada konsentrasi $0,6$ mg/L dapat mematikan anak-anak ikan dan $1,2$ ppm dapat mematikan ikan. Ammonium penting untuk pertumbuhan fitoplankton, sebaliknya NH_3 sangat racun terhadap ikan. Semakin tinggi pH konsentrasi NH_3 akan meningkat dan sangat berbahaya terhadap ikan/udang yang dipelihara dalam kolam intensip. Setiap pH naik satu digit, konsentrasi ammoniak akan naik hampir 10 kali lipat. Nitrat merupakan produk penguraian Nitrogen oleh bakteri di sungai, danau dan kolam. Nilai nitrat yang tinggi di dalam perairan dapat disebabkan karena buangan limbah rumah tangga, pertanian dan pupuk yang masuk ke dalam sistem perairan. Hasil buangan limbah pabrik kimia seperti pakan ternak dapat meningkatkan kandungan nitrat dalam air, karena konsentrasi yang berlebihan dapat terakumulasi di dalam jaringan tumbuhan sehingga menghambat pertumbuhan ikan dan tumbuhan. Penguraian Nitrogen oleh bakteri menjadi Ammonium di sungai, danau dan kolam dapat menghasilkan Nitrit (nitrifikasi) dan menjadi Nitrat. Konsentrasi Nitrit > 2 ppm dalam jangka waktu yang lama bersifat mematikan. Pada air tambak, kandungan Nitrit tidak boleh melebihi $0,5$ ppm, karena dapat menyebabkan pembekuan darah sehingga transportasi oksigen menjadi tidak aktif.

Fosfor merupakan unsur pembatas terhadap pertumbuhan fitoplankton. Tanaman secara langsung dapat memanfaatkan ion-ion orthofosfat ($H_2PO_4^-$, HPO_4^- dan PO_4^{3-}) sebagai hasil ionisasi dari asam fosfat. Keberadaan bentuk-bentuk orthofosfat tersebut dalam air dipengaruhi pH. Pada saat $[PO_4^{3-}]$ maksimum ketika $[H_3PO_4] = [HPO_4^-]$ dan pHnya 4,67. Demikian pula ketika

$[\text{HPO}_4^-]$ maksimum ketika $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{PO}_4^{3-}]$ dan pHnya 9,78. Pemasukan Fosfat ke dalam perairan dapat mempengaruhi pertumbuhan organisme, dan dalam jumlah besar dapat menyebabkan pertumbuhan alga yang tidak diinginkan. Sumber Fosfat umumnya berasal dari detergen pembersih, kotoran atau agrikultur. Fitoplankton dapat berasimilasi dan menyimpan fosfat yang masuk ke dalam perairan dan selanjutnya dapat merusak keseimbangan ekologi. Nilai fosfat dalam air tawar adalah 0,01 ppm, sedangkan dalam air laut adalah 0,07 ppm. Semakin tinggi konsentrasi fosfat dapat menyebabkan ledakan pertumbuhan alga di dalam perairan.

Sulfur di alam banyak dijumpai sebagai sulfat, merupakan sumber makanan bagi bakteri anaerob. Bila direduksi oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan H_2S yang sangat racun bagi ikan. Semakin rendah pH, konsentrasi H_2S akan semakin meningkat. Setiap pH turun satu digit, $[\text{H}^+]$ akan naik hampir 10 kali lipat. Jadi akan berbahaya bila pH rendah. pH mempunyai peranan penting dalam kehidupan organisme air dan ketersediaan unsur hara di dalam perairan itu sendiri. pH yang terlalu rendah ataupun yang terlalu tinggi dapat mematikan ikan. pH yang ideal untuk budidaya perikanan adalah 6,5-9. Oleh karena itu, pada tambak yang sumber air tawarnya dari sungai yang ber-pH rendah perlu dicampur dengan perbandingan yang tepat dengan air laut yang ber-pH lebih tinggi, sehingga pH campurannya sesuai dengan yang diinginkan. Umumnya pH air kolam rendah pada pagi hari (CO_2 tinggi) dan meningkat pada sore hari, apalagi bila alkalinitasnya rendah (daya penyangga kurang).

Chlorine digunakan sebagai desinfektan dan bersifat racun bagi kulit dan membrane mukosa pada ikan. Konsentrasi 0,2 ppm dapat membunuh berbagai spesies ikan dalam selang waktu 3 minggu. Ikan di perairan dingin, chlorinnya lebih tinggi dan chlorine mampu bertahan beberapa hari di dalam air dingin dan kondisi ini dapat merusak kehidupan organisme. Chlor dimasukkan kedalam air dapat menghasilkan gas chlorin (Cl_2), sodium hypochlorit (NaOCl) ataupun kalsium hypochlorite [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] yang berguna untuk membersihkan air ataupun tangki air (sebagai desinfektanc). Bila gas chlor dimasukkan kedalam air, maka akan terbentuk hydrochlorous dan asam chlorida. Keberadaan bentuk-bentuk chlor tersebut sangat ditentukan oleh oleh

pH. Pada pH rendah (di bawah 2) akan dijumpai Cl_2 , semakin tinggi akan dijumpai HOCl kemudian OCl^- . Ketiga bentuk chlorine ini (Cl_2 , HOCl dan OCl^-) disebut residu chlorine bebas (free chlorine residual) dan sangat racun terhadap ikan. Cl_2 hanya dijumpai pada pH dibawah 2, sedangkan keracunan chlor terjadi diatas pH 2 akibat chlor berbentuk $[\text{HOCl}]$ dan $[\text{OCl}^-]$. Daya racun HOCl dibawah pH 7 hampir 100 kali lebih kuat dari daya racun OCl^- . Semakin tinggi pH, keracunan chlorine disebabkan oleh OCl^- atau campuran HOCl dan chloramine, karena pada pH yang lebih tinggi terdapat ammoniak, dan HOCl akan bereaksi dengan ammoniak membentuk chloramine. Daya racun chloramine lebih kecil dari daya racun HOCl , oleh karena itu untuk membersihkan bak-bak yang pH airnya semakin tinggi akan dibutuhkan Cl_2 ataupun HOCl yang lebih banyak. Bila air leading (yang mengandung chlorine) digunakan untuk mengisi aquarium harus dibiarkan dulu dan beberapa jam/hari kemudian seluruh sisa-sisa chlornya menguap sebelum ikan dimasukkan.

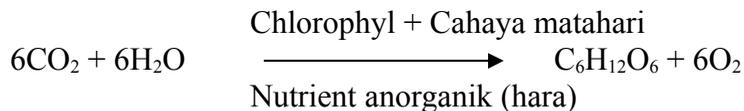
Copper (dalam air tawar dan laut) sebagai salah satu elemen dasar, merupakan suatu elemen penting bagi tumbuhan dan hewan pada saat bersamaan memiliki potensi sebagai racun ikan. Dosis mematikan bagi ikan air tawar adalah 0,1 ppm. Bakteri ikan akan rusak akibat konsentrasi jangka panjang mulai 0,03 ppm, alga tertentu menunjukkan kerusakan pada 0,1-10 ppm. Copper umumnya berasal dari pipa sistem pengairan serta dari instalasi, jika air dibiarkan bertahan di dalam pipa Copper dalam jangka yang lama, sebahagian Copper akan larut dalam air.

2.3. Faktor Biologi

Parameter kualitas air yang termasuk dalam faktor biologis adalah keberadaan fitoplankton, zooplankton, bentuk organisme baik tumbuhan maupun hewannya serta tanaman besar (macrophyte) yang tumbuh di dalam ataupun di sekitar perairan. Keberadaan organisme air ini sangat ditentukan oleh faktor fisika maupun faktor kimia airnya. Namun dari semua parameter kualitas air ini, tumbuhan air merupakan faktor ekologi yang dominan dalam suatu kolam ikan, karena tumbuhan air ini merupakan sumber makanan primer bagi kehidupan hewan air lainnya. Dengan kata lain, tumbuhan air merupakan dasar utama dalam rantai makanan di kolam. Dalam kolam intensif, tanaman air

memang kurang berperan dalam penyediaan makanan guna meningkatkan produksi kolam, namun dengan pemberian makanan tambahan pertumbuhan tanaman air ini akan cepat meningkat. Meskipun aerasi digunakan secara intensif, namun tanaman air tetap merupakan sumber terbesar dalam memproduksi oksigen terlarut dalam kolam melalui proses fotosintesis. Demikian pula sebaliknya, untuk respirasi tanaman air juga merupakan pengonsumsi oksigen terbesar dalam kolam. Tanaman air yang diinginkan tumbuh dalam kolam adalah fitoplankton, namun bila air kolam jernih, maka tanaman air yang banyak tumbuh adalah bentik alga dan tanaman macrophyte lainnya. Padatnya tumbuhan fitoplankton, bentuk alga maupun macrophyte dapat menyebabkan kekurangan oksigen (oxygen depletion).

Tanaman air memanfaatkan klorofil dan pigmen lainnya untuk menyerap energi matahari. Energi ini digunakan untuk reaksi fotosintesis dimana karbon anorganik (karbondioksida) diubah menjadi karbon organik dalam bentuk gula sederhana. Sebagian energi cahaya dirubah menjadi energi kimia yang disimpan dalam molekul gula. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



Unsur yang penting bagi tumbuhan adalah C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo. Jenis tanaman lainnya juga membutuhkan Na, Si, Cl, Bo dan Co, kemudian selanjutnya, dari gula sederhana akan dibentuk senyawa-senyawa organik yang lebih kompleks seperti tepung, cellulosa, pektin, lignin, tanin, lemak, lilin asam amino, protein dan vitamin. Ada 3 manfaat penting pada proses fotosintesis yaitu sumber energi utama dalam akuakultur, sumber bahan organik/makanan dalam ekosistem akuakultur, dan sumber penghasil oksigen terlarut dalam air. Proses dimana tanaman memanfaatkan energi yang ada dalam senyawa organik tersebut untuk kegiatan biologis selanjutnya disebut dengan proses respirasi. Jadi proses respirasi adalah kebalikan dari proses fotosintesis, seperti diperlihatkan dalam reaksi berikut :



Fitoplankton yang merupakan makanan primer ini akan dimakan oleh zooplankton, kemudian zooplankton akan dimakan oleh ikan pemakan zooplankton selanjutnya ikan pemakan zooplankton akan dimakan kembali oleh ikan buas lainnya. Rangkaian yang satu memakan yang lainnya ini disebut “Rantai makanan”, sedangkan rantai makanan yang lebih kompleks lagi dimana satu jenis organisme bisa memakan lebih dari satu jenis sumber makanan disebut “Jaringan/Jaring-jaring makanan”.

Jenis-jenis makrofita terdiri dari (1) Makro Algae (makrophyte algae : floating dan submersed) chara, nitella, spirogyra, dan rhizoclonium, (2) hidup melayang (floating weeds) : eichhornia (enceng gondok), lemna, spirodela, dan pistia, (3) seluruhnya/sebagian berada di bawah air (submersed, floating-leafed, ataupun emergent) najas, potamogeton, Elodea, ceratophyllum, dan (4) tumbuh di pinggir-pinggir kolam (Marginal vegetations).

Makrophytes dalam kolam tidak diinginkan karena mengambil tempat dari fitoplankton yang lebih diinginkan, mengambil makanan/bersaing dengan fitoplankton, menyusahkan ikan predator memangsa ikan-ikan kecil yang lebih mudah menyelip di antara pepohonan, menyusahkan pemancingan dan pelayaran, dapat merupakan sarang nyamuk, menyebabkan pendangkalan, dan menurunkan produktifitas perairan. Ada 3 cara untuk memberantas tumbuhnya makrofita, yaitu dengan (1) Cara Manual artinya memotong, mengambil/mencabuti tanaman tsb secara teratur baik dengan tangan maupun alat/mesin, (2) Cara Biologis adalah memanfaatkan hewan (ikan, serangga, bakteri) pemakan/perusak tanaman tersebut, dan (3) Cara Kimiawi yaitu menggunakan obat-obatan seperti CuSO_4 , KMnO_4 , Simazine, Aquazine, Cutrine dan sebagainya.

3. PRINSIP DASAR PENGELOLAAN KUALITAS AIR

Istilah pengelolaan kualitas air secara luas merangkumi sifat fisika, kimia dan biologi air. Bagaimana pembudidaya ikan lebih cenderung kepada aspek kualitas air yang mengontrol kecocokan air dalam usaha budidaya perikanan. Banyak pembudidaya ikan yang gagal untuk mempertahankan kualitas air usahanya sehingga menyebabkan terjadinya pertumbuhan ikan yang rendah bahkan terjadi kematian massal ikan. Beberapa teknik sebagai dasar-dasar pengelolaan kualitas air yang penting adalah pengapuran, pemupukan dan aerasi.

3.1. Pengapuran (Liming)

Kapur telah digunakan di berbagai belahan bumi, seperti di Eropah telah digunakan untuk meningkatkan produksi ikan dalam kolam yang berair lunak dan lumpurnya bersifat asam (Neess, 1946). Hickling (1962) menyatakan bahwa pemberian batu kapur 2200 kg/ha ke dalam kolam di Indonesia telah dapat meningkatkan produksi ikan mujair dari 243 kg ikan/ha menjadi 385 kg ikan/ha, sedangkan pemberian kapur 4000 kg/ha tidak dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi ikan mujair. Pengapuran dengan batu kapur 4300-4900 kg/ha pada kolam berpupuk di Universitas Auburn dapat meningkatkan produksi ikan mujair sebanyak 25% (Boyd, 1992). Di Georgia, pemberian batu kapur 5600 kg/ha tanpa pemupukan serta tanpa menambah jangka waktu pemeliharaan telah dapat meningkatkan produksi ikan bluegill dari 66 kg ikan/ha menjadi 136 kg/ha. Keadaan yang sama Snow dan Jones *dalam* Syafriadiman (1999) melaporkan bahwa pengapuran telah meningkatkan produksi bluegill di Marion, Alabama.

Pengapuran dapat meningkatkan pH tanah dasar kolam dan ketersediaan fosforus yang ditambah ke dalam air melalui pemupukan. Konsentrasi ortofosfat terlarut di dalam kolam berpupuk lebih tinggi diberi kapur daripada tanpa pemberian kapur. Pengapuran dapat meningkatkan jumlah bentos di dalam kolam berpupuk (Geneper, 2009), yang selanjutnya dapat meningkatkan ketersediaan nutrien tetapi tidak terjadi peningkatan pH (Bowling, 1962). Pamatmat (1960) menyatakan bahwa pengapuran dapat meningkatkan aktivitas

mikroba di dalam lumpur dan dapat menyebabkan peningkatan pH. Pengapuran dapat meningkatkan kealkalian air dan menyebabkan peningkatan karbon dioksida untuk fotosintesa (Boyd, 1992). Kealkalian yang tinggi setelah pengapuran dapat menjadi penimbal air dari perubahan harian pH yang mendadak biasa terjadi dalam kolam eutrofik berair lembut. Nilai pH air pada pagi hari lebih tinggi setelah pengapuran tetapi nilai pH sore hari tidak setinggi nilai pH sebelum pengapuran. Hal ini disebabkan kesan penimbunan bikarbonat. Pengapuran juga dapat meningkatkan keliatan jumlah air dengan menambah logam alkali (kalium dan magnesium). Pengapuran juga dapat menghilangkan warna yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang menghalang penembusan cahaya di dalam air. Kesan pengapuran air menjadi jernih dapat menyebabkan terjadinya peningkatan fitoplankton di dalam kolam dan ini akhirnya akan dapat meningkatkan produksi kolam budidaya perikanan. Secara ringkas, fungsi pengapuran adalah sebagai berikut :

- a. Menaikkan pH air dan tanah
- b. Menaikkan alkalinitas air
- c. Menaikkan kesadahan air dan tanah
- d. Meningkatkan kelarutan P dan C (CO₂)
- e. Membasmi hama
- f. Meningkatkan aktivitas mikroorganismes dalam lumpur
- g. Meningkatkan kemampuan penyanggan terhadap perubahan pH (efek buffer meningkat)
- h. Meningkatkan kecerahan/menghilangkan kekeruhan air
- i. Meningkatkan produktifitas kolam (fitoplankton, zooplankton, organisme bentos, dan akhirnya ikan yang dipelihara didalamnya).

3.1.1. Kolam yang memerlukan kapur

Di Georgia, kolam yang airnya lunak (lembut) < 10 mg/l keliatan jumlah biasanya memerlukan pengapuran supaya penggunaan pupuk anorganik menjadi berkesan tetapi kolam yang mempunyai keliatan jumlah 20 mg/l atau lebih tidak bereaksi dengan kapur (Thomaston dan Zeller, 1961; Zeller dan Montgomery, 1957). Umumnya reaksi kapur baik dan efektif terjadi pada keliatannya di antara 10-20 mg/l tetapi reaksinya tidak setinggi di dalam kolam

yang keliatan jumlahnya kurang dari 10 mg/l. Semakin rendah keliatan jumlah air dari 20 mg/l semakin tinggi reaksi yang terjadi dalam kolam terhadap pengapuran. Boyd (1995) menyatakan hal yang sama di Alabama bahwa keliatan jumlah kurang dari 20 mg/l perlu pengapuran dan pemupukan menunjukkan kesan yang signifikan. Produksi ikan setelah pengapuran adalah sekitar 20-25%, keliatan jumlah air antara 12-15 mg/l dan kadar peningkatan yang lebih kecil didapati jika keliatan jumlah air di antara 15-20 mg/l.

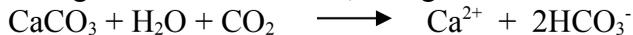
Akan tetapi, pengapuran tidak diperlukan bagi chanel catfish karena ikan ini dapat tumbuh dengan baik pada keliatan 5-20 mg/L jika makanan alami cukup. Keputusan yang sama untuk jenis ikan lain pengapuran tidak diperlukan dengan syarat makanan mengandung kalsium untuk memenuhi keperluan nutriennya. Kealkalian jumlah sebenarnya adalah merupakan salah satu indikator yang paling baik untuk menentukan keperluan pengapuran daripada keliatan jumlah. Beberapa kolam keliatan jumlah air yang rendah dan kealkalian yang tinggi atau sebaliknya. Seperti kolam-kolam di stasion-stasion perikanan di Misisipi mempunyai keliatan jumlah 20 mg/L tetapi kealkalian jumlahnya sekitar 150 mg/L. Ini disebabkan karena tingkat logam alkali lebih tinggi dari bikarbonat bumi beralkali. Kadang-kadang klorida atau sulfat mungkin bergabung dengan kalsium dan magnesium, dengan itu keliatan lebih tinggi dari kealkalian.

Pengapuran merupakan langkah pertama dilakukan seandainya gagal penggunaan pupuk organik untuk menumbuhkan plankton. Walaupun begitu, analisis keliatan atau kealkalian jumlah perlu dilakukan dan faktor yang lain yang mungkin menyebabkan terjadinya kegagalan sebelum dilakukan pengapuran. Sebelum pengapuran penulis menyarankan perlunya analisis air atau pengukuran beberapa parameter kualitas air sebelum pemupukan. Seseorang ahli biologi perikanan pernah menyarankan kepada petani ikan untuk mengapur kolamnya setelah pemupukan gagal untuk menumbuhkan plankton dan menyatakan pula bahwa kolam-kolam yang berdekatan perlu pemberian kapur. Ternyata setelah air kolam di analisis nilai kealkalian jumlah air kolam adalah 82 mg/L. Penyiasatan selanjutnya dilakukan dengan mengisi air dengan akuifer batu kapur, ternyata kegagalan pemupukan untuk perkembangan

plankton di dalam kolam petani ikan tersebut adalah disebabkan kelebihan aliran air di dalam kolam dan bukannya kekurangan kapur.

3.1.2. Komposisi Kapur

Kapur mengandung unsur kation Ca^{+2} dan Mg^{+2} berperan dalam peningkatan hardness dan anion OH^- , O^- dan CO_3^- berperan dalam peningkatan alkalinitas. Ada beberapa jenis kapur yaitu (1) Kapur pertanian (agricultural limestone = CaCO_3 (calcite), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomite)), (2) Kapur tohor/tembok (quick /unslaked lime = CaO), (3) Kapur sirih (hydrated /slaked lime = $\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan (4) Basic slag (kapur tak murni). Kalsium karbonat merupakan kapur yang penting untuk dibahas, karena karbondioksida di dalam air akan bereaksi dengan kalsium karbonat, sebagai berikut :



CaCO_3 akan bersaing dengan fitoplankton untuk mendapatkan CO_2 sehingga dapat mengurangi kadar fotosintesis dan juga bereaksi dengan CO_2 yang dibebaskan dari penguraian bahan organik dan dengan CO_2 yang terburai ke dalam air. Biasanya setelah beberapa minggu pengapuran, konsentrasi keseimbangan CO_2 menjadi lebih tinggi dari sebelumnya. Hal ini terjadi karena CaCO_3 menangkap CO_2 yang seharusnya hilang ke atmosfer. CaCO_3 akan memberi kation dan anion dalam jumlah yang setara supaya pertambahan keliatan jumlah dan kealkalian jumlah setelah pemupukan dilakukan.

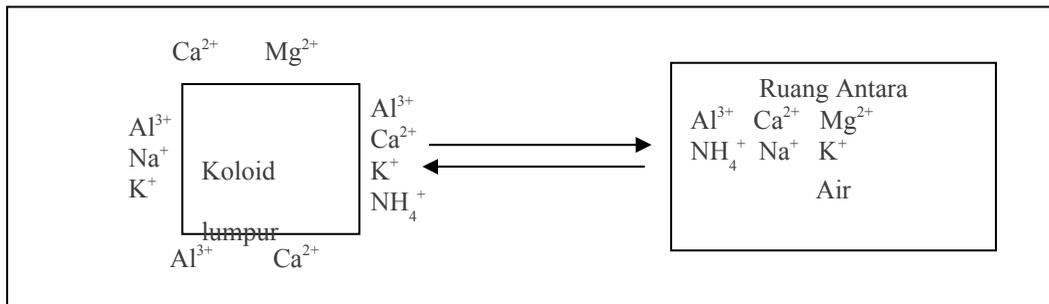
Jumlah CaCO_3 yang dibutuhkan untuk menaikkan keliatan jumlah di dalam kolam seluas 1 ha dengan kedalaman 1 meter adalah 15 mg/L air atau 15 g/m³. Walaupun demikian, namun jumlah CaCO_3 tidak mungkin mampu merubah keliatan jumlah sebuah kolam yang airnya bersifat asam dengan volume 10000 m³.

3.1.3. Kapasitas Pertukaran Kation (Cation Exchange Capacity)

Suatu keseimbangan terjadi antara kepekatan kation di dalam air ruang antara (air mengelilingi partikel lumpur) dan kepekatan kation yang masuk ke dalam koloid lumpur (Gambar 2). Sekiranya sejumlah besar K^+ ditambah ke dalam air ruang antara, K^+ akan merusak keseimbangan dan mengubah kepekatan kation dan kation yang terdapat di dalam air ruang antara untuk

menjadikan satu keseimbangan yang baru antara ion terjerap dengan ion di dalam larutan akueus. Selepas keseimbangan baru terbentuk kepekatan semua kation di dalam larutan akan bertambah dan kepekatan semua kation, kecuali K^+ yang terjerap di dalam koloid lumpur menyebabkan sasaran ion dari koloid yang disebabkan oleh K^+ .

Partikel lumpur kolam bermuatan negatif dengan demikian lumpur tersebut akan menarik kation-kation. Kemampuan lumpur untuk mengikat kation disebut kapasiti pertukaran ion, artinya partikel lumpur itu mempunyai kemampuan untuk mempertukarkan kation-kation yang terikat kepadanya dengan kation-kation yang terdapat dalam air sekitarnya. Dengan demikian defenisi Kapasiti Pertukaran Kation adalah jumlah semua kation baik yang bersifat asam maupun basa yang dikandung dalam lumpur dan dinyatakan dalam meq/100 gram lumpur kering.



Gambar 2. Keseimbangan antara kation yang terjerap di atas koloid lumpur dan kation yang terlarut dalam air antara ruang

Contohnya, jika lumpur yang Kapasiti Pertukaran Kation 5 meq/100 g mempunyai 1 meq/100 g Ca^{2+} , 0,5 meq/100 g K^+ , 0,25 meq/100 g Na^+ dan 3,25 meq/100 g Al^{3+} , unsaturated basanya adalah 3,25 meq kation asam dibagi dengan 5 meq kation yang boleh bertukar yaitu 0,65. Reaksi Al dalam air adalah : $Al\text{-lumpur} \Leftrightarrow Al^{3+} + 3H_2O \Leftrightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3H^+$

Persenyawaan Al yang mengendap dapat merupakan salah satu dari beberapa jenis almanium hidroksida dalam gibsit, $\text{Al}(\text{OH})_3$ akan digunakan sebagai wakil senyawa. $\text{Al}(\text{OH})_3$ ditemukan secara alami di dalam lumpur, ion hidrogen yang dimasukkan ke dalam air ruang antara akan melarutkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan meningkatkan kepekatan Al^{3+} di dalam air ruang antara. Ion almanium di dalam larutan adalah seimbang dengan almanium yang dapat bertukar yang terdapat dalam pertukaran kation di dalam lumpur. Oleh karena itu, sejumlah kecil H^+ yang terdapat di dalam larutan bereaksi dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Selanjutnya, pada keseimbangan $[\text{H}^+]$ di dalam air ruang antara merupakan suatu fungsi $[\text{Al}^{3+}]$, yang sebaliknya ditentukan dari jumlah almanium yang terdapat pada pertukaran kation di dalam lumpur. Ini bermakna pH air yang mengelilingi zarah lumpur adalah berhubungan kuat dengan darjah unsaturated basa lumpur. Magnitudo keupayaan keasaman (keasaman tukaran) lumpur lebih banyak tergantung kepada nilai Kapasitas Pertukaran Kation dari darjah unsaturated basanya. Dua jenis lumpur yang berlainan nilai Kapasitas Pertukaran Kationnya mungkin mempunyai pH dan unsaturated basanya yang sama tetapi lumpur yang mempunyai nilai Kapasitas Pertukaran Kation yang lebih besar akan mempunyai keasaman tukaran yang lebih banyak. Ini terjadi karena lumpur yang mempunyai nilai Kapasitas Pertukaran Kation yang tertinggi akan mempunyai jumlah kation berasam yang terbanyak. Perlu diingat bahwa unsaturated basa hanyalah merupakan kadar kation berasam kepada seluruh kation pada tempat pertukaran.

Kapasitas Pertukaran Kation tanah pertanian berbeda-beda yaitu $< 1 - > 100$ meq/100 g tanah kering dan ini juga berlaku pada lumpur di dalam kolam. Lumpur kolam ikan di Albama mempunyai nilai Kapasitas Pertukaran Kation antara 0,5-26 meq/100 g (Boyd, 1992). Lumpur yang tinggi kandungan pasirmya nilai Kapasitas Pertukaran Kationnya rendah sedangkan lumpur tinggi bahan organiknya atau lempungnya mempunyai nilai Kapasitas Pertukaran Kation yang lebih tinggi.

Kation yang bersifat asam adalah H^+ , Fe^{+3} , dan Al^{+3} sedangkan kation-kation lainnya seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ dan NH_4^+ bersifat basa. Perbandingan antara jumlah kation asam dengan Kapasitas Pertukaran Kation disebut dengan basa tak jenuh (unsaturated base). Dengan demikian bila di dalam lumpur

kolam masih mengandung unsaturated base maka kolam tersebut harus diberi kapur. Untuk menetralkan keasaman lumpur tersebut maka setiap kation asam sebesar 1 meq harus dinetralkan dengan 50 mg CaCO₃.

Misalnya lumpur kolam yang Kapasitas Pertukaran Kationnya 10 meq/1000gram dengan unsaturated base 0,3 akan membutuhkan kapur sebanyak $0,3 \times 10 \times 50 \text{ mg} = 150 \text{ mg}$ untuk setiap 100 gram lumpur kering kolam tersebut. Bila luas kolam 1000 m² dengan BJ lumpur = 1,02 maka jumlah kapur CaCO₃ yang diperlukan untuk menetralkan lumpur kolam tersebut adalah :

$$\frac{1000\text{m}^2 \times 0,15\text{m} \times 1,02 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ gr}}{0,1 \text{ kg}} = 229500\text{gr} = 229,5\text{kg}$$

Bila kapur tersedia CaO maka jumlah CaO yang diperlukan = $56/100 \times 229,5 \text{ kg} = 128,50 \text{ kg CaO}$

Catatan : 0,15 m adalah dalam tanah karena kapur umumnya hanya dapat bereaksi dengan tanah dasar kolam setebal 15 cm

Menurut Boyd (1979; 1982; 1988; 1995) bahwa ciri-ciri kolam yang membutuhkan kapur adalah (1) pH air kolam rendah pH < 5,5, (2) hardness/alkalinitas air < 20ppm, (3) air kolam keruh karena Lumpur, (4) produktifitas kolam rendah, dan (5) kolam dipupuk namun fitoplankton tidak tumbuh.

Waktu pengapuran sebaiknya pada pagi hari karena reaksi kapur akan lebih cepat bila air banyak mengandung CO₂, sedangkan cara pengapuran adalah dengan cara menyebarkan kapur ke seluruh permukaan kolam baik untuk kolam yang berisi air maupun untuk kolam yang masih kering. Untuk meningkatkan CO₂ pada kolam yang kandungan bahan organiknya kurang, bisa juga kolam diberi bahan organik sebelum dikapur karena untuk melarutkan kapur dibutuhkan CO₂.

3.1.3. Cara praktis menentukan jumlah kebutuhan kapur

Apabila sampel tanah dasar kolam di beberapa tempat diambil setebal 15 cm, dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian dihaluskan dan disaring. Sampel tanah ditimbang sebanyak 25 gram, dimasukkan ke dalam botol

kemudian dimasukkan 25 ml akuades, diaduk sampai rata dan pHnya diukur. Selanjutnya larutan buffer yang pHnya 8 ditambahkan sebanyak 25 ml dan diaduk sampai rata kemudian pHnya diukur kembali. Jadi, untuk menentukan jumlah CaCO_3 yang diperlukan untuk meningkatkan hardness air menjadi minimal 20 ppm. Jumlah kapur yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 1 (Boyd, 1979). Bila tanah kolam banyak mengandung sulfat, penentuan kebutuhan kapur disesuaikan dengan hasil titrasi penentuan Kapasitas keasaman lumpur yang mengandung sulfide (Boyd, 1979; 1992).

Tabel 1. Kebutuhan kapur CaCO_3 100% efektif (kg/Ha) untuk meningkatkan kesadahan dan total alkalinitas air kolam minimal 20ppm

pH lumpur + air	pH lumpur + air + bufer									
	7,9	7,8	7,7	7,6	7,5	7,4	7,3	7,2	7,1	7,0
5,7	91	181	272	363	454	544	635	726	817	908
5,6	126	252	378	504	630	756	882	1008	1134	1260
5,5	202	404	604	806	1008	1210	1411	1612	1814	2016
5,4	290	580	869	1160	1449	1738	2029	2318	2608	2898
5,3	340	680	1021	1360	1701	2042	2381	2722	3062	3402
5,2	391	782	1172	1562	1948	2344	2734	3124	3515	3906
5,1	441	882	1323	1765	2205	2646	3087	3528	3969	4410
5,0	504	1008	1512	2016	2520	3024	3528	4032	4536	5040
4,9	656	1310	1966	2620	3276	3932	4586	5242	5980	6552
4,8	672	1344	2016	2688	3360	4032	4704	5390	6048	6720
4,7	706	1412	2116	2822	3528	4234	4940	5644	6350	7056

Sumber : Boyd (1979; 1992; 1995)

3.2. Pemupukan (Fertilization)

Saat ini, kesuburan kolam yang rendah tidak persoalan lagi karena teknik perbaikan kualitas air kolam melalui pemupukan telah berkembang pesat. Hampir setiap kolam perlu pupuk kalau diinginkan hasil panen yang tinggi. Pada tahun 1975 sekitar 82 juta ton pupuk NPK (dihitung sebagai N, P_2O_5 dan K_2O) dipakai di seluruh dunia. Hanya 19% daripadanya digunakan di Asia, 34% di Eropah, Amerika Utara dan Tengah 22%, Amerika Latin 3%, Afrika 3%, Oseania 2% dan Soviet Rusia 17%. Kira-kira 30% dari jumlah seluruh pupuk tersebut dipakai pada lahan pertanian sereal (1 milyar ha), 19% pada lahan pertanian pangan dan lainnya (400 juta ha), 20% untuk lahan

pertanaman bukan pangan (100 juta ha) dan 31% untuk lahan perumputan (3,044 milyar ha).

Penggunaan pupuk pada kolam terutama pupuk kandang telah dimulai berabad-abad yang lalu sesuai dengan sejarah pertanian. Pada hakekatnya, saat ini penggunaan pupuk merupakan suatu keharusan untuk mempertahankan produksi yang tetap dan tinggi. Organisme untuk hidupnya membutuhkan paling tidak 13 unsur hara esensial yang harus tersedia dalam kolam. Unsur Ca (kalsium) dan Mg (magnesium) dimasukkan ke dalam kolam biasanya sebagai kapur bagi kolam-kolam yang kekurangan unsur-unsur Ca dan Mg. S (belerang) biasanya terdapat dalam pupuk. Ke tiga-tiga unsur ini umumnya tidaklah terlalu kritis keberadaannya dalam kolam. Akan tetapi unsur-unsur yang paling sering menjadi permasalahan adalah N (nitrogen), P (fosfor) dan K (kalium, potash). Unsur-unsur ini sering mengalami defisiensi di dalam kolam budidaya perikanan maka perlu penambahan melalui pemupukan. Di samping itu, unsur-unsur hara mikro tidak boleh diabaikan walaupun dibutuhkan dalam jumlah relatif kecil.

3.2.1. Fungsi dan peranan pemupukan

Unsur hara yang tersedia dalam kolam sering menjadi faktor pembatas utama dalam produksi kolam. Tanpa pemberian pupuk, ketersediaan unsur hara dalam kolam sangat terbatas hanya tersedia secara alami dalam air dan tanah dasar kolam serta ditambah dengan unsur-unsur air hujan dan endapan debu yang masuk ke kolam. Jumlah seluruhnya tidak lebih dari 30 kg/ha N (nitrogen), P (fosfor) dan K (kalium). Kolam yang ditumbuhi ganggang hijau-biru jumlah ini agak tinggi, sedangkan yang ditumbuhi oleh gulma legum jumlah N relatif kecil akibat penyematan N. Umumnya N dan P dalam kolam jumlahnya relatif sedikit. Banyak kolam yang mempunyai kejenuhan basa yang rendah atau mengandung Al (aluminium) terlarut, garam terlarut, atau Na^+ (ion natrium) tertukarkan dan dalam kuantitas yang bersifat racun. Penyematan P merupakan kejadian yang biasa dalam kebanyakan kolam-kolam tropika, oleh karena ada senyawa Fe (ferrum atau besi) yang mudah menyemat P.

Teknik perbaikan keharuan dalam kolam dengan jalan menambahkan pupuk alam (pupuk kandang, kompos, abu) dan pupuk pabrik merupakan

alternatif terbaik. Kebaikan pupuk organik terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan kadar bahan organik, kegiatan biologi dan pengadaan hara dalam air kolam. Akan tetapi kandungan hara dalam pupuk organik agak rendah jika dibandingkan dengan pupuk pabrik. Langkah awal perbaikan kualitas air kolam telah dilakukan petani ikan dengan mengumpulkan dan menyimpan kotoran ternak dan kompos untuk memupuk kolamnya. Langkah berikutnya telah dilakukan dengan pemberian pupuk pabrik, terutama N, P dan K.

Sebagaimana dijelaskan terdahulu bahwa jika pH air kolam rendah terlebih dahulu harus dikapur sekadarnya. Jika terbukti terjadi keracunan Al, kapur harus dicampur dengan tanah karena ikan tidak dapat tumbuh dan berkembang dalam kolam yang kaya dengan Al. Umumnya kolam di kawasan tropika yang mempunyai pH kurang dari 5 adalah mengandung Al terlarut. Keracunan Al lebih dahsot di Amerika Latin dari di Afrika, oleh karena di Afrika hampir semua tanah menerima debu gampingan yang berasal dari gurun.

Oleh karena kadar P dan K dalam kolam umumnya rendah dan N selalu dibutuhkan, untuk itu dilakukan pemupukan kolam dengan pupuk NPK. Untuk memperoleh sekurang-kurangnya suatu kesan umum tentang bagaimana menafsirkan akhir analisis air dan tanah dasar kolam seperti yang dinyatakan Buringh (1979), yaitu (1) Jika tanah mengandung P (fosfor) kurang dari 5 ppm sangat rendah dan bila lebih dari 30 ppm tergolong agak tinggi, dan (2) Jika tanah mengandung K (kalium) kurang dari 40 ppm sangat rendah dan lebih dari 150 ppm tergolong tinggi.

Selanjutnya, untuk menetapkan unsur-unsur apa lagi yang perlu diberi batasan sebagai tolok ukur sampai saat ini masih sangat sulit. Jadi, N, P dan K dianggap sebagai unsur hara kunci/penentu dalam perbaikan tanah khusus tanah dasar kolam. Dengan demikian pupuk N, P dan K selain pengapuran dan penambahan beberapa unsur lainnya (trace element) penting dimasukkan dan ditambahkan ke dalam kolam demi untuk meningkatkan produksi ikan dalam kolam budidaya perikanan.

Secara ringkas fungsi dan peranan pemupukan kolam budidaya perikanan adalah untuk (1) Meningkatkan konsentrasi bahan anorganik/unsur hara yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan fitoplankton, (2)

Meningkatkan pakan alami seperti fitoplankton, zooplankton dan organisme bentos, serta (3) Meningkatkan produksi kolam ikan.

3.2.2. Kualitas (grade) pupuk

Berdasarkan unsur-unsurnya, pupuk dibedakan kepada pupuk primer dan sekunder. Unsur-unsur pupuk primer adalah N (nitrogen), P (posfor) dan K (potasium, kalium), sedangkan unsur-unsur pupuk sekunder adalah Ca (kalsium), Mg (magnesium) dan S (sulfur) yang juga kadang-kadang perlu ditambahkan ke dalam kolam. NPK disebut unsur pupuk primer karena unsur ini merupakan unsur yang meskipun dibutuhkan dalam jumlah relatif kecil namun keberadaannya di alam sangat terbatas dan di beberapa tempat unsur-unsur tersebut sering tidak tersedia.

Kualitas pupuk ditentukan dalam persentase (%) berat nitrogen (sebagai nitrogen = N), fosfor (sebagai P_2O_5) dan kalium (sebagai K_2O). Misalnya jika grade pupuk tertulis 30-25-10, maka pupuk mengandung 30% N, 25% P_2O_5 dan 10% K_2O (atau dalam 100 kg pupuk terdapat 30 kg N, 25 kg P_2O_5 dan 10 kg K_2O). Selanjutnya, bila pupuk berkualitas 20-20-5 artinya pupuk mengandung 20% N, 20% P_2O_5 dan 5% K_2O .

3.2.3. Klasifikasi Pupuk

Pupuk dapat dibedakan kepada 3 klasifikasi, yaitu berdasarkan kepada : (1) pembentukan pupuk, yaitu pupuk alam dan buatan, (2) unsur hara yang dikandungnya, pupuk primer (tunggal) dan pupuk sekunder (majemuk) dan (3) susunan kimiawinya. Pupuk alam terdiri dari pupuk kandang, hijau, kompos dan guano. Sedangkan pupuk buatan adalah pupuk yang dibuat di pabrik-pabrik yang mengandung unsur hara tertentu, yang pada umumnya mempunyai kadar unsur hara yang tinggi. Kebaikan dan keburukan pupuk buatan adalah dalam Tabel 2.

Berdasarkan kandungan unsur haranya, pupuk dibedakan ke dalam 3 golongan yaitu (1) Pupuk primer mengandung satu jenis unsur hara, (2) Pupuk sekunder mengandung lebih dari satu jenis unsur hara, seperti gabungan antara N dan P atau P dan K, serta (3) Pupuk kalsium dan magnesium, penggunaannya dipakai sebagai unsur kapur, karena aspek praktisnya di samping pupuk sering digunakan dalam usaha pengapuran. Selanjutnya, berdasarkan susunan

kimiawinya, pupuk digolongkan ke dalam bentuk organik dan anorganik. Pupuk anorganik adalah pupuk yang dibuat di pabrik (pupuk buatan). Pupuk organik merupakan hasil akhir atau hasil-hasil antara dari perubahan atau penguraian tumbuhan dan hewan.

Tabel 2. Kebaikan dan Keburukan pupuk buatan

No.	Kebaikan	Kelemahannya
1.	Mudah menentukan jumlah pupuk yang diperlukan untuk kebutuhan kolam	Bila dengan tidak perhitungan dalam pemakaiannya, maka penggunaannya akan merusak lingkungan
2.	Hara yang diberikan dalam bentuk yang cepat tersedia	Tidak atau sedikit mengandung unsur-unsur mikro dan hanya unsur-unsur tertentu saja yang mempunyai konsentrasi tinggi
3.	Dapat diberikan pada saat yang lebih tepat	-
4.	Pemakaian dan pengangkutannya murah karena kadar haranya tinggi	-

3.2.4. Pupuk Anorganik (Pupuk kimia, chemical fertilizer)

Berdasarkan unsur pupuk primer tersebut, dikenal tiga jenis pupuk, yaitu pupuk Nitrogen, Fosfat dan Potash (N, P, K). Sumber utama dari N terikat untuk pembuatan pupuk adalah N dalam bentuk amoniak (82%). Ada tiga cara pengikatan N bebas di udara yang telah dikembangkan, yaitu (1) cara elektrik arc, (2) cara pembuatan kalsium sianida, dan (3) cara mereaksikan hidrogen dengan nitrogen atmosfer dan membentuk amoniak. Pupuk N (nitrogen) (Tabel 3) dalam bentuk nitrat akan lebih mudah bergerak daripada amonium. Dengan demikian lebih mudah tercuci. Oleh karena itu harus diberikan beberapa kali, misalnya pupuk amonium nitrat dan natrium nitrat. Jika dibandingkan dengan nitrat, amonium kurang bergerak di dalam tanah dan cenderung berikatan secara kompleks. Jika dalam kolam yang hardnessnya baik ammonium segera diubah menjadi bentuk nitrat. Akan tetapi, nitrat ini lebih peka terhadap pencucian dan mudah hilang ke udara.

Pemberian pupuk amonium sulfat yang berlebihan kepada kolam dapat mengakibatkan air kolam menjadi masam. Setiap pemberian 100 kg amonium sulfat per hektar akan dapat memasamkan air kolam senilai dengan kehilangan

130-140 kg kapur. Pada tanah miskin kapur atau basa rendah, maka pemberian amonium sulfat akan mengakibatkan kolam lebih masam. Kelebihan pupuk amonium adalah tidak berapa higrokopis dan dapat mengisap air dari udara bila kelembaban udara 80%. Umumnya, penggunaan amonium sulfat pada kolam-kolam yang dialiri air irigasi tidak memberikan pengaruh jelek karena basa yang dibawa oleh air irigasi dapat mengimbangi tambahan kemasaman kolam.

Tabel 3. Rata-rata persentase nitrogen serta komposisi dari pupuk nitrogen

No.	Sumber pupuk nitrogen	Persentase				
		N	CaO	Mg	S	Cl
1.	Amonium sulfat	20.5	-	-	23.4	-
2.	Anhydrous amoniak	82.2	-	-	-	-
3.	Amonium nitrat	33.5	-	-	-	-
4.	Amonium chlorida	28.0	-	-	-	-
5.	Kalsium nitrat	15.5	27.0	2.5	-	0.2
6.	Natrium nitrat	16.0	-	-	-	0.6
7.	Urea	46.0	-	-	-	-
8.	Urea sulfat (SCU)	40.0	-	-	10.0	-
9.	Amonium-sulfat-nitrat	26.0	-	-	-	-

Nitrogen dalam bentuk amida pada umumnya terdapat pada pupuk urea dimana bentuk ini mudah larut dalam air. Dalam tanah, amida berubah menjadi amonium karbonat dan amoniak. Karena konversi dari urea ke amoniak biasanya memerlukan waktu 2-3 hari, dan nitrogen mudah hilang tercuci. Oleh karena itu, sewaktu memupuk disarankan jangan terlalu banyak air. Konversi dari urea ke amonium berjalan cepat, maka penggunaan yang terlalu banyak mubazir dan akar tanaman dapat menyebabkan plasmolisa (layu atau mati) serta di dalam kolam dapat menyebabkan kematian ikan akibat keracunan. Di alam, ammonium dan nitrat merupakan hasil dekomposisi dari bahan organik yang banyak mengandung protein melalui proses deaminasi, ammonifikasi dan nitrifikasi. Contoh pupuk N adalah urea, ammonium nitrat, potasium nitrat, diamonium fosfat, dan dikalium nitrat (Tabel 4).

Banyak jenis senyawa fosfat yang biasa digunakan sebagai pupuk yaitu ammonium fosfat $\{(NH_4)_3PO_4\}$, diammonium $\{(NH_4)_2PO_4\}$, potasium fosfat (K_3PO_4) , dipotasium fosfat (K_2HPO_4) dan dikalsiumfosfat $(CaHPO_4)$. Jika

kandungan posfor pada suatu pupuk diketahui maka konsentrasi P_2O_5 dapat ditentukan. Misalnya untuk menghasilkan 1 grol P hanya dibutuhkan 1 grol P_2O_5 .

Tabel 4. Jenis-jenis pupuk dan kualitasnya

No.	Jenis Pupuk	% N	% P_2O_5	% K_2O
1.	Urea	45	0	0
2.	Kalsium Nitrat	15	0	0
3.	Sodium nitrat	16	0	0
4.	Amonium nitrat	33-35	0	0
5.	Amonium sulfat	20-21	0	0
6.	Super fosfat	0	18-20	0
7.	Triple superfosfat	0	44-54	0
8.	Monoamonium fosfat	11	49	0
9.	Di ammonium fosfat	18	48	0
10.	Kalsium metafosfat	0	62-64	0
11.	Potassium nitrat	13	0	44
12.	Potassium sulfat	0	0	50

Sumber : Boyd (1979)

Berdasarkan kelarutannya, pupuk fosfat dibagi menjadi 3 golongan, yaitu (1) pupuk fosfat yang larut dalam air, di mana P_2O_5 mudah tersedia untuk kolam budidaya perikanan, (2) pupuk fosfat yang larut dalam asam sulfat, umumnya terdiri dari dikalsium fosfat. Di mana P_2O_5 mudah tersedia untuk kolam budidaya perikanan, dan (3) Pupuk fosfat yang tidak larut dalam asam sulfat. Fraksi ini dianggap tidak tersedia untuk tanaman dan kolam budidaya perikanan. Untuk lebih jelas dapat dilihat dalam Tabel 5.

Sumber K (potasium) adalah endapan sylvite (KCl) dan carnallite (KCl. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$) yang dapat ditimbang sebagai sumber pembuatan pupuk potasium. Potash muriate yang mengandung antara 60-62% K_2O merupakan sumber potasium yang umum. Sumber yang lainnya adalah potasium sulfat, magnesium potasium sulfat dan potasium nitrat. Persentase K_2O dalam berbagai pupuk potasium dapat dilihat dalam Tabel 6.

Tabel 5. Beberapa pupuk fosfat yang larut dalam air dan asam sulfat

No.	Jenis pupuk	Total	Larut dalam asam	Larut dalam air
		% P ₂ O ₅	sulfat % P ₂ O ₅	% P ₂ O ₅
1.	Superfosfat tunggal	16.5	16.5	16.0
2.	Tripel superfosfat	45.0	40.0	40.0
3.	Basic slag	2.5-7.0	2.0-6.0	-
4.	Dikasium fosfat	34.0	34.0	-
5.	Fosfat alam	27.0-35.0	-	-
6.	Tepung tulang	25.0	8.0	-

Tabel 6. Kadar K₂O dari masing-masing pupuk kalium

No.	Jenis pupuk	Rumus Kimia	% K ₂ O
1.	Kalium klorida (muriate)	KCl	50-62
2.	Kalium sulfat	K ₂ SO ₄	48-50
3.	Kalium-magnesium-sulfat	K ₂ SO ₄ -2MgSO ₄	22-23 (18% MgO)
4.	Kalium metafosfat	KPO ₃	35-37 (55-58% P ₂ O ₅)
5.	Kalium nitrat	KNO ₃	44 (13%N)
6.	Kainit	KCl.MgSO ₄ .3H ₂ O	14-20

Bahan baku pupuk K merupakan deposit garam kalium yang larut dalam air dan umumnya berasosiasi dengan Mg (magnesium), sulfat dan klor. Deposit atau mineral ini adalah silvit (KCl), karnalit (KCl. MgCl₂. 6H₂O), langbeinit (K₂SO₄.2MgSO₄) dan kainit (KCl. MgSO₄.3H₂O). Semua garam kalium yang dipakai sebagai pupuk, larut dalam air dan dinilai segera tersedia. Tidak seperti pupuk nitrogen, pupuk kalium walaupun diberikan dalam jumlah yang banyak tidak mempengaruhi pH. Sebagai bahan pupuk kalium yang banyak digunakan adalah KCl. Hal ini disebabkan karena : (1) KCl relatif murah, (2) KCl seluruhnya mudah larut dalam air dan mudah tersedia, dan (3) anion (Cl⁻) tidak begitu mempengaruhi terhadap kualitas air kolam.

Kalium klorida dan Kalium sulfat banyak digunakan di Indonesia untuk tanaman perkebunan. Kainit banyak dipakai pada daerah yang mempunyai kadar magnesium rendah. Bila kandungan potasium pada suatu pupuk diketahui

maka kesetaraannya dengan K_2O dapat ditentukan. Untuk mendapatkan 1 grol K, hanya diperlukan $\frac{1}{2}$ grol K_2O . Dengan demikian persentase K dalam K_2O adalah sebesar $39/47$ atau persentase $K_2O = 47/39$ dari persentase K (BA K = 39; BM $K_2O = 94$ maka $\frac{1}{2}$ grol $K_2O = 47$).

Di samping jenis-jenis pupuk tersebut dikenal juga (1) Pupuk tunggal, yaitu pupuk yang hanya mengandung salah satu unsur pupuk primer di atas. Misalnya ammonium nitrat, superfosfat, triple superfosfat, potash, dikalsium fosfat dan sebagainya, (2) Pupuk komplit, yaitu pupuk yang mengadung ketiga unsur primer tersebut di atas. Contoh pupuk NPK, dan (3) Pupuk campuran yaitu pupuk yang dibuat dengan jalan mencampurkan 2 atau 3 jenis pupuk tersebut di atas.

3.2.5. Pupuk Organik

Pupuk organik dapat berasal dari kompos tumbuh-tumbuhan maupun kotoran ternak termasuk kotoran manusia. Pupuk organik ini umumnya mempunyai kandungan hara yang sangat rendah dan biasanya kurang dari 2% seperti dalam Tabel 7.

Tabel 7. Jenis-jenis pupuk organik segar dan kualitasnya

No.	Jenis pupuk	% moisture	% N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O
1.	Sapi perah	85	0.5	0.2	0.5
2.	Sapi potong	85	0.7	0.5	0.5
3.	Ayam potong	72	1.2	1.3	0.6
4.	Babi	82	0.5	0.3	0.4
5.	Domba	77	1.4	0.5	1.2
6.	Dedak kedelai	9.7	7.3	1.4	2.3
7.	Tepung darah	8.4	13.15	0.57	0.11
8.	Dedak padi	7.2	0.56	0.21	1.08

Sumber : Boyd (1979)

Oleh karena itu, pupuk organik digunakan dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan akan unsur hara tertentu, sehingga hal ini dapat menimbulkan kekurangan oksigen terlarut dalam air. Untuk mengetahui konversi jumlah pupuk organik dan anorganik yang diperlukan, di bawah ini

akan diperlihatkan cara mendapatkannya. Misalkan: Suatu kolam memerlukan pupuk dengan kualitas 20-20-5 sebanyak 50 kg/ha. Ini berarti bahwa kolam tersebut memerlukan unsur hara N sebanyak $20/100 \times 50 \text{ kg} = 10 \text{ kg}$, kemudian unsur hara P setara dengan P_2O_5 sebanyak 10 kg juga dan unsur hara K sebagai K_2O sebanyak $5/100 \times 50 \text{ kg} = 2,5 \text{ kg}$. Bila pupuk kandang sapi perah segar yang mengandung N sebanyak 0,5 % dan P_2O_5 0,2% dan K_2O sebanyak 0,5%. Jumlah pupuk kandang sapi perah diperlukan agar terpenuhi unsur P_2O_5 nya adalah $10/0,2 \times 100 \text{ kg} = 5000 \text{ kg/ha}$. Kebaikan dan keburukan pupuk organik secara ringkas dapat dilihat dalam Tabel 8.

Tabel 8. Kebaikan dan Keburukan pupuk organik

No.	Kebaikan pupuk organik	Keburukan pupuk organik
1.	Murah harganya dan mudah didapat	Digunakan terlalu banyak sehingga dapat mengakibatkan kekurangan DO
2.	Merupakan pupuk komplit, karena mengandung NPK	Komposisinya tidak dapat diatur sesuai kebutuhan
3.	Dapat langsung digunakan sebagai makanan ikan	Memerlukan ekstra biaya dan tenaga buat pengangkutan dan saat pemupukan
4.	Habitat baik bagi bakteri dan hewan bentos	Penampilan kotor dan berbau jelak
5.	Tanah dasar jadi gembur sehingga pertukaran gas dalam tanah jadi lancar	Kandungan unsur haranya sangat rendah
6.	Sangat cocok untuk polikultur	-

- Pupuk Kandang

Pupuk kandang merupakan kotoran padat dan cair dari hewan ternak yang tercampur dengan sisa-sisa makanan. Pupuk kandang dan buatan kedua-duanya menambah pakan alami dalam kolam. Tetapi pupuk kandang mempunyai kandungan unsur hara yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan pupuk buatan. Walaupun demikian, namun pupuk kandang di samping dapat menambah unsur hara ke dalam kolam juga dapat mempertinggi humus, memperbaiki dan mendorong kehidupan organisme dalam kolam terutama plankton dan organisme bentos.

Keadaan dan keragaman komposisi unsur-unsur yang terdapat dalam pupuk kandang tergantung kepada jenis hewan, umur dan keadaan individu hewan, makanan yang dimakan oleh hewan tersebut, bahan amparan dan cara handling/pengelolaan serta menyimpan pupuk kandang sebelum dipakai. Kadar rata-rata unsur hara yang terdapat dalam pupuk kandang dalam Tabel 9.

Tabel 9. Kadar rata-rata unsur hara yang terdapat dalam pupuk kandang

No.	Jenis hewan	Bentuk Kotoran	Persentase kotoran			
			H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1.	Kuda	Padat	75	0.55	0.30	0.40
		Cairan	90	1.35	sedkit	1.25
		Keseluruhan	78	0.70	0.25	0.55
2.	Sapi	Padat	85	0.40	0.20	0.10
		Cairan	92	1.00	sedkit	1.35
		Keseluruhan	86	0.60	0.15	0.45
3.	Domba	Padat	60	0.75	0.50	0.45
		Cairan	85	1.35	0.05	2.10
		Keseluruhan	68	0.95	0.35	1.00
4.	Babi	Padat	80	0.55	0.50	0.40
		Cairan	97	0.40	0.10	0.40
		Keseluruhan	87	0.50	0.35	0.40
5.	Ayam	Padat	-	-	-	-
		Cairan	-	-	-	-
		Keseluruhan	55	1.00	0.80	0.40

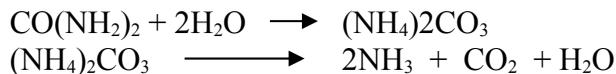
Dari Tabel 9 terlihat bahwa kadar hara yang terdapat di dalam pupuk kandang sangat beragam. Oleh karena itu untuk keperluan perhitungan telah ditetapkan suatu kesimpulan bahwa hara yang terdapat di dalam pupuk kandang berkadar rata-rata 0,5% N, 0,25% P₂O₅ dan 0,5% K₂O. Di samping unsur-unsur tersebut pupuk kandang juga mengandung karbon, magnesium, belerang dan mungkin juga mengandung unsur mikro. Kelompok terakhir ini sangat penting dalam menjaga dan mempertahankan keseimbangan hara dari kolam yang mendapat pupuk ini.

Pupuk kandang bila dibandingkan dengan pupuk buatan adalah : (1) lebih lambat bereaksi, karena sebagian besar zat-zat makanan harus mengalami berbagai perubahan terlebih dahulu di dalam kolam, (2) mempunyai efek residu, yaitu haranya dapat secara berangsur bebas dan tersedia di dalam kolam. Umumnya efek ini masih menguntungkan setelah 3 atau 4 tahun setelah

perlakuan. Walaupun pada kenyataannya pengaruh cadangan tersebut tidak begitu nyata. Tetapi dapat dipastikan bahwa pemupukan dengan pupuk kandang secara teratur, lambat laun akan membentuk cadangan unsur hara di dalam kolam tersebut, dan (3) dapat memperbaiki struktur dan menambah bahan organik tanah dasar kolam.

Tetapi walaupun demikian harus pula diingat bahwa terdapat ketidakseimbangan perbandingan kadar unsur hara yang terdapat di dalam pupuk kandang tersebut yaitu unsur fosfor. Fosfor yang diberikan ke dalam tanah tidak semuanya akan segera dapat berfungsi bagi fitoplankton. Oleh karena itu selalu disarankan dalam penggunaan pupuk kandang harus diikuti dengan pemupukan TSP dan P buatan lainnya. Pupuk kandang juga mempunyai permasalahan tersendiri yaitu kehilangan unsur hara terutama nitrogen adalah dalam bentuk NH_3 , NO_3 dan N_2 . Dari beberapa peneliti menyimpulkan bahwa penyimpanan pupuk kandang dapat terjadi kehilangan 50% nitrogen, kalium dan bahan organik dan 35% fosfor. Adanya penguapan dalam bentuk NH_3 perlu mendapat perhatian yang serius. Berdasarkan pengalaman banyak kerugian bila pupuk kandang segera ditanamkan ke dalam kolam. Penguapan NH_3 akan berlangsung cepat bila udara sekelilingnya kering dan panas.

Perubahan/fermentasi yang terjadi terdapat banyak jasad renik disebabkan karena di dalam pupuk kandang terdapat jasad renik yang anaerobik. Pertama sekali senyawa nitrogen sederhana akan mengalami perubahan kemudian disusul oleh bahan-bahan lain yang lebih kompleks. Karbon dioksida dibebaskan dalam jumlah yang banyak. Urea dan urine mengalami hidrolisis. Amonium karbonat yang dihasilkan tidak stabil dan akhirnya membentuk amoniak dan bebas ke udara (bau yang sering tercium di dalam kandang). Proses terjadinya reaksi dapat digambarkan secara sederhana sebagai berikut :



Bila keadaan memungkinkan terjadinya nitrifikasi, nitrat akan terbentuk dalam jumlah yang banyak. Karena nitrat mudah larut dalam air maka mudah hilang tercuci. Walaupun demikian, ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk

mengurangi kehilangan hara dari pupuk kandang, yaitu dengan cara yang telah lama digunakan di Inggris adalah dengan membuat lantai kandang dari beton sehingga unsur hara tidak tercuci. Sehingga bahan amaran yang terus menerus mendapat tambahan eksresi dan diinjak-injak ternak membantu pengawetan pupuk. Kalau pupuk kandang hendak disimpan di luar harus diusahakan supaya jangan penggenangan air pada tumpukan pupuk. Ada juga dengan cara membuat bak penyimpanan pupuk kandang yang dibuat dari beton yang diberi naungan untuk mencegah air hujan masuk ke dalam simpanan pupuk tersebut.

- Pupuk Hijau

Pupuk hijau adalah tanaman atau bagian-bagian yang masih muda yang ditanam ke dalam tanah dengan tujuan untuk menambah bahan organik dan unsur hara terutama nitrogen ke dalam tanah. Biasanya, pupuk hijau yang sering digunakan jenis tanaman legium, karena kandungan nitrogennya relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanaman lainnya. Pemilihan tanaman yang cocok untuk pupuk hijau harus memenuhi beberapa syarat di antaranya (1) cepat tumbuh dan dapat menghasilkan banyak bahan organik, (2) tidak banyak mengandung kayu, (3) mudah busuk, (4) banyak mengandung nitrogen, dan (5) dapat tumbuh pada tanah yang kurus serta kurang subur dan tanah kekeringan.

Melihat syarat-syarat sedemikian maka tanaman yang sesuai untuk pupuk hijau adalah dari jenis legium seperti *Crotalaria juncea* (2-2.5 bulan), *Crotalaria anagyroides* (3-4 bulan) dan *Crotalaria usaramensis* (3-4 bulan). Pupuk hijau terutama legium dapat dibagi ke dalam tiga kelompok, yaitu (1) pupuk hijau berbentuk pohon dipakai sebagai pohon pelindung. Misalnya *Leucena glauca* (lamtoro), *Sesbania grandiflora* (turi putih) dan sebagainya, (2) pupuk hijau berbentuk perdu biasanya dipakai untuk tanaman misalnya *Crotalaria* sp., *Tephrosia candida*, serta (3) pupuk hijau berbentuk semak yang lunak batangnya, misalnya *Calopogonium muconoides*, *Centrocema* sp., *Minosa invisa*. Beberapa jenis pupuk hijau baik dari jenis kacang-kacangan atau bukan dapat dilihat dalam Tabel 10.

Tabel 10. Beberapa jenis pupuk tanaman hijau

No.	Jenis kacang-kacangan	Bukan kacang-kacangan
1.	<i>Crotalaria</i> sp.	Gandum
2.	<i>Tephrosia candida</i>	Rumput sudan

3.	<i>Leucena glauca</i>	Millet
4.	<i>Centrocema pubescen</i>	Barley
5.	<i>Mimosa invisa</i>	Oats
6.	<i>Peuraria javanica</i>	Rye
7.	<i>Calopogonium mucunoides</i>	Ryegrass
8.	<i>Phaseolus; Vigna; Dilochos</i>	Rumputan
9.	Canavalia, Mucuna, Clover & kedede	

Dari segi biokimia keuntungan dari pemakaian pupuk hijau dapat dikatakan bahwa dengan penambahan pupuk hijau berarti menambah persediaan bahan organik dalam kolam. Bahan organik merupakan media bagi kehidupan jasad renik yang kemudian mengadakan reaksi biokimia di mana keadaan ini mempunyai arti penting dalam produksi CO₂, NH₃ dan NH₄ dan mungkin pembentukan senyawa-senyawa lainnya. Respon dari flora tanah azotobacter terhadap bahan yang berkarbon dan bernitrogen telah diketahui, juga pada tanah gambut yang kaya bahan organik. Organisme tanah akan dirangsang bila bahan organik berupa pupuk hijau ditanamkan.

Di samping itu tanaman pupuk hijau yang tumbuh mempunyai pengaruh terhadap pengawetan hara yang kalau tidak hilang bersama air drainase atau erosi. Dalam hubungan tersebut tanaman pupuk hijau berfungsi sebagai tanaman penutup tanah (cover crop). Hal ini dapat dilihat pada perkebunan-perkebunan, terutama kebun kelapa sawit.

- Kompos

Bahan yang berasal dari sisa-sisa organik apa saja (sampah sisa hijauan dan lain-lain) yang ditumpuk akan mengalami perubahan sehingga dapat dipakai sebagai pupuk, disebut kompos. Alasan pembuatan kompos adalah (a) karena untuk memperoleh pupuk kandang dalam jumlah yang besar, lebih-lebih yang mudah dikomposisikan, sangatlah sukar, dan (b) penanaman pupuk hijau tidak selalu berhasil serta harus mengorbankan tanah untuk tidak ditanami tanaman yang menghasilkan bahan makanan selama penanaman pupuk hijau.

Pembuatan kompos merupakan suatu proses dekomposisi sisa-sisa tanaman. Sisa-sisa hasil pertanian, tanaman, kotoran ternak, urine ternak, sisa makanan ternak, batang dan ranting, daun-daun yang jatuh, sampah

kesemuanya dapat dijadikan kompos. Untuk mendapatkan kompos yang baik maka di dalam pembuatan kompos hendaknya diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. struktur bahan-bahan yang akan dibuat kompos hendaknya jangan terlalu kasar. Bahan-bahan seperti jerami, bahan pangkasan pupuk hijau, sebaiknya dipotong-potong lebih halus,
2. bahan-bahan yang kurang mengandung nitrogen harus dicampur dahulu dengan bahan-bahan yang banyak mengandung jasad renik, misalnya pupuk kandang, humus. Kadang-kadang diberi juga sedikit nitrogen buatan,
3. bahan-bahan untuk kompos ditumpuk berlapis-lapis di atas tanah. Tiap-tiap lapisan setebal ± 30 cm, kira-kira merupakan tumpukan hasil penumpukan seluruhnya ± 1.5 meter. Penumpukan seluruhnya haruslah selesai dalam waktu ± 10 hari,
4. untuk mempercepat proses penguraian, pada tiap-tiap lapisan diberikan kapur atau abu kapur,
5. tumpukan kompos harus cukup basah dan diberi atap untuk mencegah panas/sinar matahari dan hujan,
6. setiap satu bulan tumpukan dibongkar untuk dibalikkan dan ditumpukkan kembali. Dengan cara demikian perubahan di dalam tumpukan dapat merata. Setelah 3 atau 4 kali dilakukan pembongkaran, pembalikan dan penumpukan kembali diperoleh kompos yang telah masak.

- Pupuk Guano

Guano adalah merupakan deposit/sedimen yang terdiri dari kotoran binatang, terutama burung laut dan kelelawar yang telah mengalami pengaruh alam dalam waktu relatif lama dan telah mengalami perubahan-perubahan. Unsur hara yang terdapat di dalamnya adalah N dan P serta ada juga guano yang mengandung kalium. Kandungan hara yang paling tinggi adalah fosfor yang berasosiasi dengan kalsium, yaitu dalam bentuk Ca-P, sehingga dengan adanya kandungan fosfor yang tinggi guano biasa disebut fosforit. Pupuk ini pertama sekali diperdagangkan pada tahun 1824. Banyak terdapat di Peru

dengan kadar nitrogen 4-6% dan asam fosfat 20-24%. Guano yang diperdagangkan di pasaran mempunyai kadar hara yang beragam, tetapi biasanya mengandung 8-12% asam fosfat dan 11-16% nitrogen serta 2-3% kalium.

3.2.6. Syarat-syarat dan Cara pemupukan

Ada 7 persyaratan penting kolam/tambak untuk diberi pupuk, yaitu (1) Air kolam jernih tidak subur atau produktivitas kolam rendah, (2) Air kolam tenang/tidak mengalir deras, (3) Hardness lebih dari 20 ppm atau pH air kolam lebih tinggi dari 6, (4) Pada kolam yang ber pH tinggi, pupuk ammonium tidak boleh digunakan karena dapat mengakibatkan kematian ikan dengan munculnya gas amoniak (ammonium berubah menjadi amoniak), (5) Bila hardness air tinggi jangan menggunakan super ataupun triple super fosfat karena pupuk tidak akan melarut, (6) Air kolam harus jernih bila keruh harus dikapur terlebih dahulu, dan (7) kolam sedang tidak ditumbuhi makrofit (tanaman air) (Syafriadiman *et al.*, 2005).

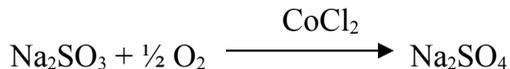
Cara pemupukan menurut Boyd (1979; 1985) adalah (1) Pupuk tidak perlu disebar ke seluruh permukaan kolam, cukup ditaruh/ditebarkan di bagian pemasukan air, (2) Sebaliknya pupuk dilarutkan dalam air agar lebih efektif, (3) karena dibutuhkan dalam jumlah sedikit sebaiknya diberikan dalam jumlah kecil, namun dengan frekuensi yang lebih sering, (4) pemanfaatan pupuk akan lebih efektif bila pupuk ditempatkan diatas bangunan balai-balai, sekitar 15 cm di bawah permukaan air, dan (2) untuk pupuk organik, sebaiknya diberikan langsung tiap hari dengan jalan membuat kandang di atas kolam dan akan lebih etis lagi bila kandang dibuat jauh dari kolam, kemudian kotorannya dialirkan ke kolam setelah melalui proses biologis di sebuah septi tank.

3.3. Teknik Aerasi

Aerasi diberikan untuk meningkatkan DO dalam air. Aerasi juga berguna untuk menimbulkan adanya sirkulasi air sehingga munculnya gas-gas yang tidak diinginkan (H_2S , NH_3) dapat segera keluar dari permukaan air dan untuk penyebaran DO serta bahan-bahan lainnya jadi merata.

Dilihat dari segi waktu pengoperasiannya, aerator dapat dibagi menjadi dua, yaitu (1) Continous aerator : aerator yang dioperasikan secara terus menerus (air bubble fishpump, water sprayer, small paddle wheel aerator). Aerator seperti ini berukuran kecil dan kemampuan untuk mentransfer oksigen juga relatif rendah, dan (2) Emergency aerator (paddle wheel aerator, centrifugal pump). Aerator ini berukuran besar dengan kemampuan mentransfer oksigen juga besar. Aerator ini hanya dioperasikan saat-saat kritis, umumnya pagi-pagi buta dan hanya untuk beberapa jam saja. Sedangkan berdasarkan peralatan/metodanya, aerator dikenal 3 jenis yaitu (1) Secara gravitasi, mengalirkan air dari daerah tinggi ke daerah lebih rendah dan cara ini sering disebut cara tradisional, dan (2) Secara mekanik. Ada 3 cara mentransfer oksigen ke dalam air, yaitu (1) menciptakan gelembung-gelembung udara dan memasukkannya ke dalam air (air bubble pump). Dengan kata lain udara dimasukkan kedalam air. Makin halus dan makin banyak gelembung udara yang dapat ditimbulkannya semakin banyak oksigen yang dapat ditransfer ke dalam air, (2) menciptakan gelembung-gelembung air ke udara (water splash/pump sprayer aerator), (3) campuran dari point 1 dan 2, serta (3) Secara langsung memasukkan oksigen murni ke dalam air (Boyd, 1979; 1995).

Untuk menguji keefektifan suatu aerator dapat dilakukan dengan jalan menyediakan bak air dan berisi air secukupnya. Kemudian dibuat DO air di dalam bak menjadi 0 ppm dengan cara memasukkan Natrium sulfat (Na_2SO_3) dan akan bereaksi dengan air membentuk Na_2SO_4 . Untuk mempercepat reaksi dipakai katalisator kobalt klorida (CoCl_2). Reaksi pembuatan DO = 0 adalah sebagai berikut:



Setelah DO = 0 maka aerator dipasang kemudian dicatata kenaikan DO setiap 10-20 menit sampai kejenuhan 80-90%. Untuk menghitung biaya pengoperasiannya, perhatikan jenis aerator yang digunakan, kemudian dicatat tenaga aerator (PK/KW), lama dioperasikan, kenaikan DO-nya dan luas kolam serta berapa volume airnya.

Contoh : Tenaga aerator = 2 KW, dioperasikan setiap hari selama 4 jam dalam kolam yang volume airnya 5000m³. Kenaikan DO selama 4 jam adalah 4

ppm. Berapa kemampuan aerator tersebut untuk mentransfer oksigen selama 1 jam dan berapa biaya yang diperlukan untuk pengoperasian aerator tersebut selama satu bulan (30 hari) bila biaya listrik Rp. 250,-/KWH. Maka jumlah oksigen yang dapat ditransfer selama 1 jam adalah $\frac{1}{4} \times 5000000 \times 4 \text{ mg/l} = 5000000 \text{ mg O}_2$ atau = 5 kg O₂/jam. Biaya yang diperlukan selama 30 hari adalah : 30 (hari) x 4 (jam) x 2 KW x Rp. 250/kwh = Rp. 60.000,-

4. PENGELOLAAN KUALITAS AIR TERCEMAR

Faktor yang mempengaruhi perairan atau sumber air budidaya tercemar adalah sangat tergantung kepada jenis toksikan/pollutan, konsentrasi pollutan, lama waktu bersentuhan antara larutan pollutan dengan organisme dan volume air penerima pollutan (Syafriadiman, 1999; 2006; 2007). Pemantauan kualitas air perlu dilakukan, karena pollutan yang terdapat dalam air dapat berubah tergantung kepada iklim dan lingkungan (Rand dan Petrocelli, 1985).

Menyadari akan ancaman yang begitu besar tersebut terutama dari pencemaran berbagai limbah industri jelas dapat menyebabkan semakin menurunnya kualitas air, perairan semakin tercemar, organisme semakin punah, maka berbagai metode alternatif telah banyak digunakan untuk penanggulangan pollutan, khususnya pollutan yang semakin meningkat di dalam suatu perairan seperti :

1. Teknik mengurangi konsentrasi pollutan yang akan dibuang ke perairan. Cara ini untuk dalam jangka waktu yang lama, perlakuan tersebut dapat merusak lingkungan akibat waktu akumulasi pollutan tidak sebanding dengan masa “*recovery* (perbaikan)” dari lingkungan itu sendiri
2. Teknik penetralan pollutan yang aktif menjadi senyawa yang kurang aktif. Cara ini lebih baik dari metode pada point 1 yaitu dengan menambahkan senyawa-senyawa tertentu, sehingga konsentrasi pollutan berkurang kemudian dilepas ke lingkungan perairan. Kelemahan penggunaan metode ini adalah hasil pembuangan pollutan non-aktif ini ke lingkungan perairan akan menjadi masalah pada waktu tertentu karena pollutan dengan mudah dapat mengalami degradasi oleh lingkungan menjadi senyawa aktif yang dapat mencemari lingkungan
3. Teknik *Reverse osmosis* merupakan proses pemisahan pollutan oleh membran semipermeabel dengan menggunakan perbedaan tekanan luar dengan tekanan osmotik dari limbah. Metode ini cukup bagus akan tetapi kerugian sistem ini adalah biayanya cukup mahal sehingga sulit terjangkau oleh pemilik industri di Indonesia
4. Teknik elektrodialisis, yaitu teknik yang menggunakan membran ion selektif permeabel berdasarkan perbedaan potensial antara 2 elektroda

yang menyebabkan perpindahan kation dan anion. Kelemahan teknik ini dapat menimbulkan kerugian terutama terjadinya pembentukan senyawa logam-hidroksi yang menutupi membran

5. Teknik ultrafiltrasi merupakan metode yang dilakukan dengan cara penyaringan dengan tekanan tinggi melalui membran berpori. Kelemahan penggunaan teknik ini dapat menimbulkan banyak *sludge* (lumpur)
6. Teknik resin penukar ion, metode ini berprinsip pada gaya elektrostatis di mana ion yang terdapat pada resin ditukar oleh ion polutan dari limbah. Kelemahan penggunaan cara ini juga akan mengalami kerugian terutama biayanya yang relatif tinggi dan sebagian masih menimbulkan ion yang *ter-remove*

4.1. Pemantauan kualitas air

Pemantauan kualitas air sebenarnya merupakan bagian dari pengelolaan perairan tercemar, yang harus dilakukan secara berkesinambungan terutama mengenai modeling, pengukuran, analisa dan sintesa yang meramalkan dan mengkuantifikasi sifat-sifat parameter kualitas air (terutama polutan) dan mengawinkan informasi yang diperoleh secara efektif ke dalam pembuatan keputusan untuk pengelolaan perairan semakin tercemar. Pemantauan ini sebaiknya harus berdasarkan kepada peraturan yang ada, melembaga dan pengambilan keputusan terhadap berbagai lokasi perairan yang semakin tercemar, organisme perairan yang semakin punah atau lingkungan yang semakin rusak.

Sedangkan sistem pemantauan adalah sejumlah kegiatan yang diperlukan untuk memberikan informasi pengelolaan tentang kondisi-kondisi kualitas air. Tergantung kepada kebutuhan dari sesuatu keadaan, kegiatan-kegiatan tersebut dapat meliputi model numerik dan konseptual, penelitian lapangan dan laboratorium, telaah-telaah pendahuluan, pengukuran-pengukuran berkala, analisa data, sintesa dan interpretasi. Sistem pemantauan berbeda dengan kegiatan-kegiatan tersebut di atas kalau dilakukan sendiri-sendiri dalam hal sifatnya yang terintegrasi dan terkoordinasi dan sasaran khusus dalam menghasilkan informasi pengelolaan yang telah digariskan terlebih dahulu.

Meskipun pemantauan itu dilakukan untuk berbagai keperluan pada umumnya dimaksudkan untuk menghasilkan informasi mengenai (1) Kepatuhan (compliance), untuk memastikan bahwa kegiatan-kegiatan industri benar-benar dilakukan sesuai dengan peraturan-peraturan yang berlaku dan persyaratan-persyaratan izin yang ditentukan, (2) Verifikasi model untuk memeriksa berlakunya anggapan-anggapan dan ramalan-ramalan yang digunakan sebagai dasar untuk design sampling atau perizinan dan untuk evaluasi alternatif-alternatif pengelolaan, dan (3) Pemantauan perubahan, untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi perubahan-perubahan kualitas air dalam jangka panjang yang diharapkan sebagai akibat yang mungkin oleh kegiatan manusia. Dua kategori pertama secara implisit terkait oleh tindakan-tindakan pengelolaan khusus, sedangkan kategori ke 3 dapat dilakukan tanpa keperluan khusus untuk membuat keputusan. Perlu dijelaskan bahwa tidak termasuk ke dalam pemantauan lingkungan adalah pengamatan berkesinambungan keadaan kualitas air, untuk keperluan lain daripada memperkirakan nilai kualitas air, misalnya mengakses stok ikan untuk pengelolaan eksploitasi perairan.

4.2. Penentuan Batas Aman Biologi (Biological Safety Level) Pollutan

Kandungan pollutan limbah industri, khususnya logam di dalam organisme perairan cenderung akan bertambah karena sifat logam yang bioakumulatif, sehingga organisme perairan sangat baik dijadikan sebagai indikator perairan (Darmono, 2001). Jadi, apabila pollutan logam-logam berat limbah industri masuk ke badan air selanjutnya terkonsumsi oleh organisme seperti ikan dan kemudian ikan dimakan oleh manusia, maka dalam waktu tertentu pollutan tersebut terakumulasi di dalam tubuh, artinya tidak bisa diurai oleh organ tubuh.

Penelitian penentuan batas aman biologi berbagai jenis limbah industri, seperti limbah minyak sawit, *pulp and paper*, minyak bumi dan komposit Limbah kelapa sawit, *pulp and paper*, *crumb rubber*, dan lem *plywood* terhadap organisme budidaya ikan tawar telah dilakukan seperti ditunjukkan dalam Tabel 11. Tabel 11 menunjukkan bahwa setiap jenis limbah cair industri yang digunakan dapat memberikan pengaruh terhadap berbagai organisme. Nilai batas aman biologi dalam tabel tersebut menunjukkan bahwa organisme uji

dapat tumbuh selama pemeliharaan organisme tersebut tanpa menyebabkan kematian akibat konsentrasi limbah-limbah industri tersebut. Artinya seluruh konsentrasi batas aman biologi polutan dari setiap jenis limbah industri, seperti industri minyak sawit, *pulp and paper*, minyak bumi, dan komposit beberapa limbah jelas tidak mematikan organisme budidaya perikanan selama pemeliharaan. Nilai batas aman biologi limbah industri minyak sawit terhadap benih ikan nila adalah 1,26 ml limbah/L, untuk algae hijau adalah 0,33 ml limbah/L. Ini menunjukkan bahwa jika limbah industri minyak sawit masuk ke dalam lingkungan perairan atau masuk ke dalam wadah-wadah budidaya ikan akan selamat atau aman untuk dipelihara, khususnya benih ikan nila dan algae hijau.

Tabel 11. Nilai Batas Aman Biologi berbagai jenis limbah industri terhadap beberapa jenis organisme perairan

Jenis Limbah Industri	Jenis organisme perairan	Batas Aman Biologi Limbah	Referensi
Minyak Sawit	Benih ikan nila merah (<i>Oreochromis</i> sp.)	1,26 ml/L	Hutbah (2005)
	Algae hijau (<i>Ulothrix implexa</i>)	0,331 ml/L	Syafriadiman (2003)
	Benih ikan gabus (<i>Channa</i> sp)	0,394 ml/L	Syafriadiman (2005)
	Zooplankton	0,292 ml/L	Syafriadiman (2004)
Komposit Limbah kelapa sawit, <i>pulp and paper</i> , <i>crumb rubber</i> , dan lem <i>plywood</i>	Siput hisap (<i>Syncera</i> sp)	0,064 ml/L	Suhendri (2002)
	Siput lentitang (<i>Digoniostoma</i> sp.)	0,063% (v/v)	Syafriadiman (2002)
Komposit minyak sawit dan lem <i>plywood</i>	Siput hisap (<i>Syncera</i> sp)	0,063 ml/L	Suhendri (2002)
	Siput lentitang (<i>Digoniostoma</i> sp.)	0,191% (v/v)	Fahrulsyah (2002)
<i>Pulp and Paper</i>	Siput lentitang (<i>Digoniostoma</i> sp.)	0,090% (v/v)	Fahrulsyah (2002)
Minyak Bumi PT. CPI	Benih ikan kerapu bebek (<i>Cromileptes altivelis</i>)	0,354 ml/L	Syafriadiman (2006)

Nilai batas aman biologi berbeda-beda menurut jenis limbah, ukuran dan jenis organisme (Rand dan Petrocelli, 1985; Syafriadiman, 2008). Begitu juga nilai batas aman biologi polutan yang terkandung di dalam limbah industri

juga berbeda di antara jenis pollutan dan jenis organisme (Syafriadiman, 2008). Nilai batas aman biologi beberapa pollutan logam berat ditunjukkan dalam Tabel 12.

Tabel 12. Nilai Batas Aman Biologi beberapa pollutan logam berat terhadap berbagai organisme budidaya

Jenis pollutan	Jenis organisme perairan	Ukuran (mm)	Batas Aman Biologi Pollutan (mg/L)	Referensi
Cd (kadmium)	Benih ikan lele dumbo (<i>Clarias gariepinus</i> , Burchell)	30 - 40	0,013	Putri (2007)
	Benih Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i> L.)	25 - 30	0,023	Jupriyanto (2007)
Zn (zinc)	Benih ikan gurami (<i>Osphronemus gouramy</i> , Lac)	30 - 50	0,406	Mardiana (2006)
Pb (plumbum)	Lobster (<i>Cherax quadricarinatus</i>)	20 - 30	0,106	Ambarsari (2007)
	Kijing Airtawar (<i>Pilsbryconcha exilis</i>)	50 - 60	13,400	Handiro (2007)

Informasi yang dapat kita peroleh dari tabel di atas bahwa nilai batas aman biologi pollutan adalah berbeda-beda menurut jenis pollutan, ukuran dan jenis organisme. Walaupun demikian, namun nilai batas aman biologi pollutan logam berat Cd terhadap benih ikan lele dumbo dan nila berturut-turut adalah 0,013 mg/L dan 0,023 mg/L. Bila terdapat nilai-nilai konsentrasi batas aman biologi pollutan logam berat Cd ini di dalam perairan dapat dijadikan sebagai media hidup dan sumber air untuk pemeliharaan ikan lele dumbo dan ikan nila.

4.3. Teknik Pengelolaan Kualitas Air Tercemar Dalam Perairan

Sebagaimana dijelaskan di atas bahwa lingkungan perairan semakin tercemar di berbagai kawasan, terutama lingkungan perairan laut, danau dan sungai yang merupakan tong pembuangan limbah dari berbagai jenis industri

yang ada di sekitarnya. Sesuai dengan berjalannya waktu tentu lambat laun tanpa disadari jelas perairan semakin tercemar dan ini merupakan ancaman yang sangat besar terhadap kerusakan lingkungan.

Berdasarkan kelemahan-kelemahan dari setiap metode/teknik yang digunakan untuk menurunkan kadar pollutan di suatu perairan, maka dewasa ini para peneliti baik dalam maupun luar negeri sedang menggalakkan pencarian metode alternatif lain. Salah satunya adalah penggunaan mikroorganisme untuk mengabsorpsi pollutan atau biasa disebut dengan teknik bioremediasi. Alpha Environmental Inc., Texas, pernah menyemprotkan mikroba alami yang memakan minyak pada tumpahan sekitar 100.000 barrel, dan mikroba itu kemudian mati setelah memakan tumpahan minyak tersebut. Sementara itu, Lee dan Levy (1991) dalam Swan *et al* (1994) melaporkan hasil studi mereka tentang penggunaan bioremediasi terhadap tumpahan minyak yang mengandung lilin. Dikatakan bahwa minyak dengan konsentrasi yang rendah (0,3% v/v) dapat terdegradasi oleh bakteri alami; sementara minyak dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3%) lebih resisten (n-C11 bertahan hingga 6 bulan). Pencampuran dengan pupuk pertanian secara nyata telah memperkaya proses. Penambahan nutrient telah membantu dalam penghilangan sejumlah hidrokarbon, tetapi faktor pembatas di sini adalah ketersediaan oksigen, dengan demikian penambahan harus terjadi pada lapisan permukaan aerobik.

Bioremediasi dapat diartikan sebagai terkonsentrasi dan terakumulasinya bahan penyebab perairan semakin tercemar dalam suatu perairan oleh material biologi, yang mana material biologi tersebut dapat *recovery* toksikan/pollutan sehingga dapat dibuang dan ramah terhadap lingkungan. Sedangkan berdasarkan kemampuannya untuk membentuk ikatan antara pollutan dengan organisme maka bioabsorpsi merupakan kemampuan material biologi untuk mengakumulasikan pollutan melalui media metabolisme atau jalur psiko-kimia. Proses bioabsorpsi ini dapat terjadi karena adanya material biologi yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung pollutan (dengan afinitas yang tinggi) sehingga mudah terikat pada biosorben.

Perbaikan kualitas air dengan bioremediasi mempunyai biaya yang rendah, efisien, biosorbennya dapat diregenerasi, tidak perlu nutrisi tambahan, kemampuannya dalam *recovery* pollutan dan *sludge* yang dihasilkan ramah

terhadap lingkungan. Dilihat dari keuntungannya maka metode bioremediasi lebih efektif dibanding dari keenam teknik tersebut di atas. Pertukaran ion dan *reverse osmosis* dalam hubungannya dengan sensitifitas kehadiran *suspended solid*, zat organik dan pollutan lainnya serta lebih baik dari proses pengendapan (*precipitation*) bila dikaitkan dengan kemampuan menstimulasikan perubahan pH dan konsentrasi pollutannya.

Beberapa metode alternatif yang digunakan untuk pengelolaan kualitas air khususnya yang mengandung toksikan/polutan, seperti merkuri, yaitu menggunakan teknologi “Phytoremediation”. Teknologi mengolah limbah dengan sistem Phytoremediasi, menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan pencemar. Limbah padat atau cair yang akan diolah ditanami dengan tanaman tertentu yang dapat menyerap, mengumpulkan, mendegradasi bahan-bahan pencemar tertentu yang terdapat di dalam limbah tersebut. Timbul berbagai istilah yang dapat diberikan terhadap sistem ini sesuai dengan mekanisme yang terjadi pada prosesnya. Misalnya Phytostabilization merupakan polutan distabilkan di dalam tanah oleh pengaruh tanaman. Phytostimulation merupakan akar tanaman menstimulasi penghancuran polutan dengan bantuan bakteri rhizosphere. Phytodegradation merupakan tanaman mendegradasi polutan dengan atau tanpa menyimpannya di dalam daun, batang, atau akarnya untuk sementara waktu. Phytoextraction merupakan polutan terakumulasi di jaringan tanaman, terutama daun. Phytovolatilization merupakan polutan oleh tanaman diubah menjadi senyawa yang mudah menguap sehingga dapat dilepaskan ke udara. Rhizofiltration merupakan polutan diambil dari air oleh akar tanaman pada sistem hidroponik.

Peristiwa *Exxon Valdez* juga telah memberikan kesempatan untuk melakukan percobaan terhadap berbagai metoda biologis untuk memperbaiki akibat tumpahan minyak berskala besar. Pada salah satu test, peneliti secara periodik memberikan pupuk N/P kepada bakteri di pantai. Pada daerah yang lain, sampel bakteri dibawa ke laboratorium, dibiakkan untuk meningkatkan biomassa, kemudian dimasukkan kembali ke daerah sekitar tumpahan minyak. Hasilnya cukup baik, tetapi bila ditinjau lebih jauh lagi, dapat beresiko terhadap terjadinya eutrofikasi yang diakibatkan oleh pupuk dan juga kemungkinan

keracunan akibat degradasi produk samping, yaitu berupa ammonia dan butoksietanol.

Proses remediasi polutan dari dalam tanah atau air terjadi karena jenis tanaman tertentu dapat melepaskan zat carriers, yang biasanya berupa senyawaan kelat, protein, glukosida, yang berfungsi mengikat zat polutan tertentu kemudian dikumpulkan di jaringan tanaman, misalnya pada daun atau akar. Keunggulan sistem phytoremediasi adalah biayanya murah dan dapat dikerjakan secara *insitu*, tetapi kekurangannya di antaranya adalah perlu waktu yang agak lama dan diperlukan pupuk untuk menjaga kesuburan tanaman, akar tanaman biasanya pendek sehingga tidak dapat menjangkau bagian tanah atau air yang dalam. Misran (2001) menyimpulkan bahwa teknologi bioremediasi dengan sistem resirkulasi air memberikan kondisi yang positif bagi kualitas air tambak, dan aplikasi bioremediasi mampu meningkatkan jumlah individu udang hidup dari 600 individu udang pada petak B menjadi 1800 individu pada petak A.

Syafriadiman (2006) juga telah memanfaatkan cahaya lampu neon dan Chlorophyceae untuk meningkatkan kualitas air limbah industri kelapa sawit, walaupun masih dalam skala laboratorium. Hasilnya telah memberikan informasi bahwa cahaya lampu neon 10 watt bisa dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas air limbah industri kelapa sawit, terutama untuk meningkatkan densitas Chlorophyceae (*Closterium gracile* dan *Ulothrix implexa*), oksigen terlarut (DO), pH, klorofil a, dan menurunkan kadar CO₂ dan NH₃-N. Pemanfaatan cahaya lampu neon 10 watt lebih baik jika dibandingkan dengan cahaya lampu neon 15 watt, 5 watt dan kontrol (tanpa cahaya lampu).

Beberapa jenis mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bioabsorpsi terutama adalah dari golongan alga yakni alga dari divisi *Phaeophyta*, *Rhodophyta* dan *Chlorophyta* (Tabel 13). Selain itu, tanaman air juga dapat digunakan untuk mengabsorpsi polutan seperti kangkung air (*Ipomoea aquatica*), enceng gondok (*Eichhornia crassipes*). polutan yang dapat diabsorpsi/di-*remove* adalah logam berat beracun, logam esensial dan radionuklida. Contoh absorban kangkung air terhadap polutan logam berat Cd yang terkandung dalam limbah industri minyak bumi PT. CPI Minas Propinsi Riau ditunjukkan dalam Gambar 3.

Tabel 13. Perbandingan selektifitas mikroorganisme terhadap pollutan logam berat

Mikroorganisme	Jenis pollutan logam berat yang <i>di remove</i> berdasarkan beberapa penelitian
<i>Mucur mucedo</i>	Cu
<i>Rhizopus stolonifer</i>	Cu,Cd,Zn,U,Pb
<i>Aspergillus orizae</i>	Cu
<i>Penecillium chrysogenum</i>	Cu
<i>Ecklonia radiata</i>	Cu,Pb,Cd,Cr
<i>Saccharomyces cerevisie</i>	Cu,Pb,Cd,Ni
<i>Chlorella vulgaris</i>	Pb,As
<i>Phellinus badius</i>	Pb,Cd
<i>Pinus radiata</i>	Pb,Cd
<i>Sargassum sp.</i>	Cu,Cr,Fe
<i>Durvillea potatorum</i>	Zn
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Pb,Zn,Cu
<i>Chiarella vulgaris</i>	Cu
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cr,Cu
<i>Aspergillus niger</i>	Cr,Cu
<i>Pseudomonas syringae</i>	Hg, Zn, Cd
<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Cu, Cr, Pb, Ni, Zn
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Ni, Cu, Pb
<i>Absidia sp.</i>	Pb, U, Cu

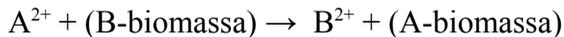
*) Dari pelbagai sumber

Gambar 3. Grafik hubungan persentase absorpsi kangkung air dengan pollutan logam berat Cd yang terkandung dalam limbah industri minyak bumi

Gambar 3 menunjukkan hubungan absorpsi kungkung air dengan pollutan logam berat Cd yang terkandung dalam limbah industri minyak bumi. Peningkatan waktu dedah menyebabkan terjadinya peningkatan persentase absorpsi kungkung air terhadap pollutan logam berat Cd. Keadaan yang sama juga, peningkatan waktu dedah juga meningkatkan persentase absorpsi kungkung air terhadap pollutan logam berat Zn yang terdapat dalam limbah industri minyak bumi.

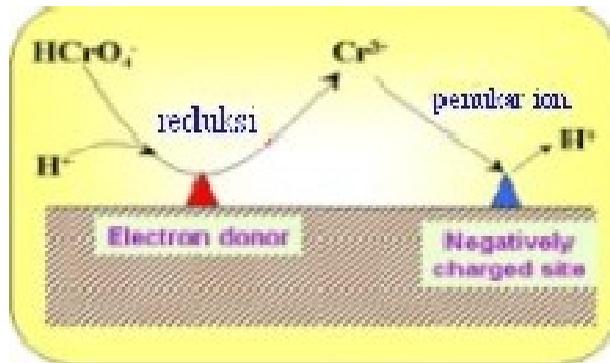
4.4. Mekanisme Proses Bioabsorpsi

Sebagian besar mekanisme pembersihan pollutan (A^+) oleh mikroorganisme (B-biomassa) adalah proses pertukaran ion yang mirip dengan pertukaran ion pada resin. Mekanisme pertukaran ion ini dapat dirumuskan sebagai berikut:



Mekanisme ini dapat dibagi atas 3 cara, yaitu berdasarkan metabolisme sel, posisi pollutan di-removed dan cara pengambilan (absorpsi) pollutan. Berdasarkan metabolisme yakni proses yang bergantung kepada metabolisme dan proses yang tidak bergantung kepada metabolisme sel. Berdasarkan posisi pollutan di-*remove* dibagi menjadi akumulasi ekstraseluler (presipitasi), akumulasi intraseluler dan penyerapan oleh permukaan sel.

Selanjutnya berdasarkan cara pengambilan (absorpsi) pollutan dapat dilakukan dengan dua proses, yaitu Proses (1) *Passive uptake*. Proses ini terjadi ketika ion pollutan terikat pada dinding sel biosorben. Mekanisme *passive uptake* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara pertukaran ion dan pembentukan senyawa kompleks. Cara pertukaran ion dilakukan di mana ion pada dinding sel digantikan oleh ion-ion pollutan. Sedangkan pembentukan senyawa kompleks dilakukan antara ion-ion pollutan dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil secara bolak balik dan cepat. Sebagai contoh adalah pada *Sargassum sp.* dan *Eklonia sp.* di mana Cr(6) mengalami reaksi reduksi pada pH rendah menjadi Cr(3) dan Cr(3) di-*remove* melalui proses pertukaran kation. Proses *passive uptake* Cr pada permukaan membran sel (Cossich *et al.*, 2002) dalam Gambar 4.



Gambar 4. Proses *pasive uptake* Cr pada permukaan membran sel (Cossich *et al.*, 2002)

Kemudian proses (2). Aktif uptake. Mekanisme masuknya pollutant melewati membran sel sama dengan proses masuknya logam esensial melalui sistem transpor membran, hal ini disebabkan adanya kemiripan sifat antara pollutant logam berat dengan logam esensial dalam hal sifat fisika-kimia secara keseluruhan. Proses aktif uptake pada mikroorganisme dapat terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi intraselular ion logam.

Untuk mengetahui jumlah pollutant logam berat yang mengalami proses bioabsorpsi oleh mikroorganisme dapat dihitung dengan pendekatan konstanta Langmuir yaitu :

$$Q = \frac{Q_{\max} b x C_{eq}}{1 + b x C_{eq}}$$

Keterangan:

Q = miligram logam yang diakumulasi per gram

C_{eq} = besar konsentrasi logam pada larutan

Q_{max} = maksimum serapan spesifik dari biosorben

b = rasio bioabsorpsi

Catatan : Pemakaian formula tersebut hanya berlaku, bilamana pHnya konstan dan untuk bioabsorpsi 1 jenis logam saja.

Hasil penelitian Voleski (2005) dengan penggunaan konstanta langmuir menunjukkan bahwa *Sargassum* dapat menyerap pollutan logam berat Cd, Cu dan Uranium (U). *Sargassum vulgare* dapat menyerap Cd pada pH 4,5 sebanyak 87 mg Cd/g, *Sargassum fluitans* 80 mg Cd/g dan *Sargassum filipendula* 74 mg Cd/g. Sedangkan, Cu terserap oleh *Sargassum vulgare* 59 mg Cu/g, *Sargassum filipendula* 56 mg Cu/g, dan *Sargassum fluitans* 51 mg Cu/g. Secara keseluruhan, *Sargassum* mampu menyerap Uranium adalah > 500 mg U/g.

Untuk organisme lain, yaitu kangkung air dapat menyerap pollutan logam berat Cd setelah 5 hari (Syafriadiman, 2008). Kangkung air perlakuan P90 dapat menyerap logam berat Cd 71,43%, P60 66,67%, dan P30 52,38% dari konsentrasi awal 0,21 mg Cd /l larutan uji. Berarti, logam berat Cd dapat diserap oleh kangkung air paling tinggi setelah hari ke 4 dan 5, yaitu 71,43% dari konsentrasi awal 0,21 mg Cd/l larutan uji (Gambar 5). Hal ini sesuai dengan pendapat Syafriadiman (2000) bahwa proses yang berkaitan dengan toksikan/pollutan dalam ekosistem akuatik dapat dikelompokkan menjadi tiga proses yaitu "physical process" (proses fisika seperti absorpsi), "biological process" (proses biologi, seperti biodegradasi), dan "chemical process" (proses kimia, seperti oksidasi, hidrolisa dan kompleksasi). Semakin lama waktu pendedahan kangkung air di dalam larutan tersebut menunjukkan penurunan kadar logam berat Cd di dalam larutan uji (Gambar 6).

Gambar 5. Persentase bioabsorpsi kangkung air terhadap kandungan logam berat dalam larutan uji

Gambar 6. Grafik hubungan kadar logam berat Cd dalam kangkung air terhadap waktu sampling

Peningkatan kadar logam berat dalam kangkung air juga sangat tergantung kepada waktu pendedahan. Jumlah absorpsi juga sangat tergantung kepada jumlah berat kangkung air yang didedahkan. Amri *dalam* Syafriadiman (1999) menyatakan bahwa mekanisme penyerapan sel-sel tumbuhan dapat dilakukan dengan cara penyerapan pasif (non metabolic absorption) yaitu ion akan masuk ke jaringan tumbuhan dari media (larutan) yang konsentrasinya rendah. Perbedaan berat kangkung air pada setiap wadah menunjukkan perbedaan jumlah logam berat yang diabsorpsi selama penelitian. Bilamana pertumbuhan kangkung air semakin baik pada kesuburan tinggi akan diperoleh penyerapan maksimum oleh organisme bioabsorpsi terhadap logam berat (Syafriadiman, 2006). Persentase penyerapan organisme bioabsorpsi kangkung air ini terhadap logam berat Cd terhenti pada hari ke 4 atau setelah tercapainya keseimbangan tekanan osmosis di dalam tubuh organisme bioabsorpsi tersebut dengan media (larutan) uji. Jadi, bilamana tekanannya telah seimbang antara dalam larutan dengan organisme bioabsorpsi maka organisme tidak menyerap lagi.

Konsentrasi logam berat Cd dalam larutan uji setelah diabsorpsi oleh kangkung air adalah 0,06 mg/l dan nilai ini di bawah ambang batas baku mutu

yang diperbolehkan untuk baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri 0,1 mg/l (MenLH, 1995). Jadi, dengan penambahan berat kangkung air dan dengan menambah pupuk untuk kesuburan perairan tentu nilai ini akan turun sampai pada batas aman logam berat Cd terhadap berbagai jenis organisme budidaya perikanan. Penerapan teknik ini pada sumber-sumber air kolam/tambak budidaya tentu dapat sebagai alternatif teknik pengelolaan kualitas air budidaya perikanan di kawasan industri. Kangkung merupakan salah satu jenis tumbuhan air. Menurut Soerjani (1980) bahwa tumbuhan air dapat meremove berbagai bahan kimia melalui fotosintesis dan menyerap kelebihan zat hara yang menyebabkan pencemaran perairan.

Adanya tumbuhan air seperti kangkung air ini di dalam perairan tercemar selain menurunkan kadar toksikan/pollutan juga dapat meningkatkan kualitas air melalui proses fotosintesa. Larcher (1980) menyatakan bahwa senyawa kimia yang diabsorpsi oleh tumbuhan air seperti kangkung air dapat diakumulasi dalam jaringan vaskuler tumbuhan atau dapat digunakan untuk proses metabolisme. Parameter kualitas air, seperti suhu berkisar di antara 25,5-28,5°C, pH (darjah keasaman) 5,5-6,5 dan DO (oksigen terlarut) 4,5-6,0 mg/l adalah cukup baik untuk usaha budidaya perikanan.

Penentuan organisme bioremediasi (makro atau mikro organisme) yang paling baik untuk mengabsorpsi berbagai toksikan/pollutan dari suatu perairan jelas sangat berguna untuk mengantisipasi limbah cair dari berbagai industri yang semakin berkembang. Organisme yang mampu sebagai bioremediasi dari berbagai jenis toksikan/polutan merupakan alternatif teknologi pengelolaan kualitas air budidaya perairan pada era industrialisasi yang tengah berkembang pesat.

5. PENUTUP

Istilah pengelolaan kualitas air secara luas merangkumi sifat fisika, kimia dan biologi air. Bagaimana pembudidaya ikan lebih cenderung kepada aspek kualitas air yang mengontrol kecocokan air dalam usaha budidaya perikanan. Banyak pembudidaya ikan yang gagal untuk mempertahankan kualitas air usahanya sehingga menyebabkan terjadinya pertumbuhan ikan yang rendah bahkan terjadi kematian massal ikan. Pembudidaya ikan menginginkan teknik dan cara pengelolaan yang pasti terhadap kualitas air budidaya perikanan, terutama dalam era industrialisasi yang pesat perkembangannya.

Pengelolaan kualitas air dengan teknik pengapuran dapat memperbaiki kualitas air dan keseimbangan ekologi organisme, karena pengapuran dapat meningkatkan pH air dan tanah dasar kolam, alkalinitas air, kesadahan air dan tanah, kelarutan P dan C (CO_2), aktivitas mikroorganisme, kemampuan penyanggaan terhadap perubahan pH, kecerahan, produktifitas kolam (fitoplankton, zooplankton, organisme bentos, dan ikan yang dipelihara), serta menghilangkan kekeruhan air dan membasmi hama dan penyakit. Teknik pemupukan pula telah dapat meningkatkan kesuburan kolam. Jika diinginkan hasil panen yang tinggi, kolam harus dipupuk begitulah promosi produser pupuk. Fungsi dan peranan pemupukan kolam adalah meningkatkan konsentrasi unsur hara untuk pertumbuhan fitoplankton, meningkatkan pakan alami (fitoplankton, zooplankton dan organisme bentos), dan meningkatkan produksi kolam ikan. Pengelolaan kualitas air untuk meningkatkan DO di dalam kolam/tambak dapat dilakukan dengan teknik aerasi. Aerasi berguna untuk menimbulkan adanya sirkulasi air sehingga munculnya gas-gas yang tidak diinginkan (H_2S , NH_3) dapat segera keluar dari permukaan air dan untuk penyebaran DO serta bahan-bahan lainnya jadi merata.

Selain teknik pengapuran, pemupukan dan aerasi, teknik penggunaan organisme merupakan teknologi yang pesat saat ini untuk meningkatkan kualitas air tercemar. Penggunaan mikroorganisme untuk mengabsorpsi pollutan disebut dengan teknik bioremediasi merupakan terkonsentrasi dan terakumulasinya bahan pollutan dalam suatu perairan oleh material biologi. Material biologi tersebut dapat *me-recovery* pollutan sehingga dapat dibuang

secara ramah lingkungan. Sedangkan, kemampuan organisme (material biologi) untuk mengakumulasi polutan melalui media metabolisme atau jalur psikokimia disebut dengan bioabsorpsi. Bioabsorpsi ini dapat terjadi karena adanya material biologi (disebut biosorben) dan adanya larutan polutan (dengan afinitas yang tinggi) sehingga mudah terikat pada biosorben.

Teknik bioremediasi dengan bioabsorpsi organisme, terutama dari golongan alga dari divisi *Phaeophyta*, *Rhodophyta* dan *Chlorophyta* dan tanaman air seperti kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat meremove berbagai bahan-bahan kimia melalui fotosintesis dan menyerap kelebihan zat-zat hara yang menyebabkan terjadinya pencemaran perairan. Pemanfaatan teknik ini juga dapat meningkatkan kualitas air dan produksi tambak udang. Kelebihan-kelebihan teknik bioremediasi berbanding dengan teknik penanggulangan polutan/toksikan buangan limbah industri dan air tercemar lainnya, terutama adalah biayanya relatif murah, efisien, biosorbennya dapat diregenerasi, tidak perlu nutrisi tambahan, kemampuannya dalam *me-recovery* logam dan *sludge* yang dihasilkan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, Rachmat, dan Benny. 1999. Kebijakan, Strategi, dan Program Pengendalian Pencemaran dalam Pengelolaan Pesisir dan Laut, Prosiding Seminar Sehari Teknologi dan Pengelolaan Kualitas Lingkungan Pesisir dan Laut, Bandung: Jurusan Teknologi Lingkungan ITB.
- Ambarsari, D. 2007. Toksisitas Logam Berat Pb (Plumbum) dan Uji Sublethal Terhadap Lobster (*Cherax quadricarinatus*). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru. (tidak diterbitkan). 98 hal.
- Bowling. 1962. Fish Farming handbook. Avi Publishing Co, Inc., Westport. 391 p.
- Boyd, C.E. 1979. Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Agricultural Experiment Station. Auburn University. Auburn. 359 p.
- _____. 1982. Water Quality Management for Fish Pond Culture. Departement Fisheris and Allied Aquaculture Experiment Station. Auburn University. Alabama. US. 318 p.
- _____. 1988. Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Fourth Printing. Auburn University Agricultural Experiment Station, Alabama, USA. 359p.
- _____. 1992. Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture. Department of Fisheries and Allied Aquacultures at Auburn University. Chapman & Hall. Alabama. 340 p.
- _____. 1995. Water Quality in Fond for Aquaculture. Auburn University. Alabama. 183 p.
- Bryan, G. W. 1984. Pollution Due to Heavy Metals and their Compounds, p. 1289-1431. In O. Kinne (Ed.), Marine Ecology. Vol 5. John Willey and Sons Ltd., London.
- Buckman. O. H., and C. N. Brady. 1982. Ilmu Tanah. Penerbit Bhratara Karya Aksara. Jakarta. 788 hal.
- Buringh. 1979. Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions. Eds. III.

- Charade, Titi, dan H. Subandri. 1983, Sekali Lagi Tentang Penanggulangannya: Pencemaran Air Akibat Industri Minyak, dalam Harian Pikiran Rakyat, edisi 15 Mei 1983.
- Cholik, Artati, Arifudin, R. 1991. Pengelolaan Kualitas Air Kolam Ikan. Water Quality Management in Pond Fish Culture. Direktur Jenderal Perikanan. Jakarta.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam. Universitas Indonesia Press. 179 hal.
- Denton, G.R.W dan Burdon, Jones. C. 1998. The Influence of Temperature and Salinity Upon the Acuate Toxicity of Heavy Matsls the Benana Prawn (*Peneaus marquensis*, de Man). Chem in ecol : 131 – 143 pp.
- Eckenfelder Jr., and W. Wesley. 1989. *Industrial Water Pollution Control, 2nd edition*, Singapore: McGraw Hill International Editions.
- Fahrulsyah, A. 2002. Toksisitas Beberapa Limbah Industri di Daerah Aliran Sungai Siak Terhadap Siput Lentitang (*Digoniostoma* sp). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 52 hal (tidak diterbitkan).
- Foth, H.D. 1984. Fundamentals of Soil Science. Fifth Edition. John Wiley & Sons Inc. 777 p.
- Handiro. 2007. Toksisitas Logam Berat Pb (Plumbum) dan Uji Sublethal Terhadap terhadap Kijing Airtawar (*Pilsbryoconcha exilis*). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 64 hal (tidak diterbitkan).
- Heitmann, and H. Gunter. 1990. *Saline Water Processing*, Weinheim-Jerman: VCH Verlagsgesllschaft.
- Hickling, C. F. 1962. Fish Culture. Faber and Faber, London, 317 pp.
- Hutbah, M. 2005. Toksisitas limbah cair industri kelapa sawit dan uji sub-lethal terhadap ikan nila merah (*Oreochromis* sp.). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 52 hal (tidak diterbitkan).
- Jupriyanto. 2007. Toksisitas Logam Berat Cd (kadmium) dan Uji Subkronik Terhadap Benih Ikan Benih Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L.).

- Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru. (tidak diterbitkan). 107 hal.
- Koesumadinata, S dan Sutrisno. 1997. Penentuan Toksisitas Letal dan Ambang Konsentrasi Aman Herbisida 2,4-D Dimetil Amina, Isopropil Glifosat dan Butaklor Pada Benih Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia. Jakarta. Vol. III: 2. hal 18-26.
- Kratochvil dan Voleski. 1998. Biosorption of Cu From Ferruginous Wastewater by Algal Biomass. Water Research journal. Mc Gill.
- Larcher, W. 1980. Physiologycal Plant Ecology. Second ed. Springer-Verlag. Berlin. Heidelber. 74 hal.
- Made. 1989. *Pengaruh Logam berat Bagi Lingkungan*, dalam Harian Angkatan Bersenjata, Jakarta: 25 Januari 1989.
- Mannion, A.M. dan Bowlby, S.R. 1992. *Environtmental Issues in the 1990's*, England: John Wiley & Sons.
- Mardiana, B. 2006. Toksisitas Logam Berat Zn (Zinc) Dan Uji Subkronik Terhadap Benih Ikan Gurami (*Osphronemus gouramy* Lac). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru. (tidak diterbitkan). 76 hal.
- MenLH (Menteri Lingkungan Hidup). 1995. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENKLH/10/1995. Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. Jakarta. 60 hal.
- Pitrajaya. M. 1992. Pemanfaatan enceng gondok sebagai penyerap sulfida, sulfat dan khlorida dalam air limbah cair PT. Indah Kiat. Skripsi FMIPA Universitas Riau. Pekanbaru (tidak diterbitkan). 84 hal.
- Pramudianto, dan Bambang. 1999. *Sosialisasi PP No.19/1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan atau Perusakan Laut*, Prosiding Seminar Sehari Teknologi dan Pengelolaan Kualitas Lingkungan Pesisir dan Laut, Bandung: Jurusan Teknologi Lingkungan ITB.
- Putri, D.S. 2007. Toksisitas Logam Berat Cd (kadmium) dan Uji Subkronik Terhadap Benih Ikan lele dumbo (*Claris gariepinus* Burchell). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru. (tidak diterbitkan). 119 hal.

- Rand, G. M. and Petrocelli, S. R. 1985. *Fundamental of Aquatic Toxicology. Methods and Application*. Washington: Hemisphere Publishing Co.
- Scott, and Keith. 1995. *Handbook of Industrial Membrane*, Edisi 1, USA: Elsevier Advanced Technology.
- Siahaan, N. H. T. 1989. *Pencemaran Laut dan kerugian yang Ditimbulkan (II)*, dalam Harian Angkatan Bersenjata, Jakarta: 9 Juni 1989.
- Soerjani, M. 1980. Pengendalian Gulma Air di Indonesia. Kertas kerja ke-4 Ilmu Tumbuhan Pengganggu Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta. 21 hal.
- Stoner, Daphne L. 1994, *Biotechnology for The Treatment of Hazardous Waste*, USA: Lewis Publisher.
- Suhendri. 2002. Pengaruh campuran limbah industri (pulp and paper, minyak sawit, crumb rubber, dan plywood) di sepanjang daerah aliran sungai Siak terhadap kelulushidupan siput hisap (*Syncera* sp.). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 61 hal (tidak diterbitkan).
- Sumadhiharga dan Kurnaen. 1995. *Zat-Zat yang Menyebabkan Pencemaran di Laut*, dalam Jurnal Pusat Studi Lingkungan Perguruan Tinggi Seluruh Indonesia: Lingkungan dan Pembangunan 15 (4), 376-387.
- Swan, J. M., J. M. Neff and Young, P. C. 1994. *Environtmental Implications of Offshore Oil and Gas Development in Australia - The findings of an independent scientific review*, Sydney-NSW: Australian Petroleum Aexploration Association Limited.
- Syafriadiman. 1999. Kajian Biologi, Toksikologi dan Pengkulturan Tiram *Crassotrea iredalei*. Thesis Doktor Falsafah (Ph.D) pada Jabatan Marine Science, Faculti Sains dan Sumber alam, UK. Malaysia. Pusat Pengkajian Siswazah, UK. Malaysia.
- _____. 2000. Pengantar Toksikologi Akuakultur. Diktat. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 78 hal.
- _____. 2002. Toksisitas campuran limbah industri (pulp and paper, minyak sawit, crumb rubber, dan plywood) terhadap siput Siput lentitang (*Digonistoma* sp.). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 58 hal (tidak diterbitkan).

- _____. 2003. Toksisitas limbah industri minyak sawit terhadap Algae hijau (*Ulothrix implexa*). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 70 hal (tidak diterbitkan).
- _____. 2004. Toksisitas limbah industri minyak sawit terhadap Zooplankton. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 69 hal (tidak diterbitkan).
- _____. 2005. Toksisitas limbah industri minyak sawit terhadap benih ikan gabus (*Channa* sp). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 48 hal (tidak diterbitkan).
- _____, Pamungkas, N.A., dan Hasibuan, S. 2005. Prinsip Dasar Pengelolaan Kualitas Air. Edisi Pertama. MM. Press. C.V. Mina Mandiri. Pekanbaru. 131 hal.
- _____. 2006. Toksisitas limbah industri Minyak Bumi PT. CPI terhadap Benih ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru. 90 hal (tidak diterbitkan).
- _____. 2008. Toksikologi. Pengantar Toksikologi Akuakultur. Edisi Pertama. MM Press CV. Mina Mandiri. 473 hal.
- Tamba, A. 2001. Patologi Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*, Burchell) Akibat Kandungan Berbagai Konsentrasi Minyak Mentah (Crude oil). Skripsi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. 86 hal (tidak diterbitkan).
- Tansel, Berrin, Regula, Jayadev, dan Shalewitz, Robert, 1995, *Treatment of Fuel Oil and Crude Oil Contaminated Waters by Ultrafiltration Membranes*, dalam Jurnal Desalination 102 (1995) 301-311.
- Wenten, I.G., dan Adityawarman, D., 1999, *Prospek Pemanfaatan Teknologi Membran dalam Bidang Bioteknologi Kelautan*, Bandung.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan Saya untuk menyampaikan ucapan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan Nasional yang telah memberikan penghargaan dan kepercayaan kepada Saya untuk memangku jabatan akademik tertinggi sebagai Guru Besar (Professor) dalam bidang Manajemen Kualitas Air pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, saya juga mengucapkan terima kasih kepada Rektor selaku Ketua Senat Universitas Riau (UR), beserta PR. I, II, III dan IV serta seluruh Anggota Senat UR yang telah memberikan rekomendasi pengusulan Guru Besar Saya, terutama kepada Bapak Prof. Dr. Adnan Kasry dan Prof. Dr. Rasoel Hamidy, MS yang telah bertungkus lumus memeriksa kelayakan akademik saya untuk menyandang jabatan Guru Besar ini. Kemudian kepada Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan sebagai Ketua Senat Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UR, beserta kepada Pembantu Dekan I, II, III dan IV, seluruh Anggota Senat Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Ketua Jurusan Budidaya Perairan, Rekan-rekan Dosen Jurusan Budidaya Perairan dan Dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan pada umumnya beserta seluruh Pegawai di lingkungan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UR, terutama kepada staf kepegawaian bidang akademik Bapak Epi Herianto, Zaini dan M. Saleh, SH yang telah bersusah payah untuk mempersiapkan dan menyusun administrasi usulan Guru Besar Saya sampai pada acara pengukuhan Saya pada hari ini, Saya ucapkan terima kasih yang tak terhingga, semoga Allah SWT dapat membalas seluruh bakti Bapak dan Ibu sekalian. Amin.

Pada kesempatan yang berbahagia ini juga, izinkan saya untuk menyampaikan rasa terima kasih saya kepada Prof. Dr. Alma Awaluddin dan Prof. Dr. Arbain H. Kadri (Alm) yang senantiasa membimbing Saya dan selalu memberi kesempatan kepada Saya untuk yang terbaik, terutama mengusulkan dan meng-upgrade Saya dari MSc. Programme (S-2) ke Ph.D Programme (S-3)

setelah 7 (tujuh) bulan saya mengikuti Program S-2. Ucapan terimakasih juga kepada Prof. Dr. Salim, Dr. Ir. Syamaruddin Siregar, Mr. Hotrosky dan rekan-rekan terutama Dr. Htay Aung (Birma), Dr. Aleo Baladu (India), Ir. Yurisman, MSc. serta yang lainnya selama belajar di UKMS Kampus Sabah yang banyak membantu dan memberikan motivasi selama bersama-sama dalam diskusi tentang tugas-tugas dan thesis. Berkat bimbingan mereka dan kebersamaan dengan mereka sehingga saya dapat menyelesaikan program S-3 dengan menyandang gelar Doktor Falsafah sebagai jembatan utama dalam menyandang jabatan fungsional guru besar seperti yang dikukuhkan pada hari ini.

Pada kesempatan ini, juga saya ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada Bapak Drs. Syafril Anwar, Ir. Yusniar Hamidy, MS. dan Ir. Ridwan Said (Alm) selaku pembimbing untuk menyelesaikan Sarjana Faperi (sekarang Faperika), berkat bimbingan mereka saya dapat memperoleh gelar sarjana perikanan (Ir.) sebagai titian saya untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang S-2 dan S-3. Selanjutnya, kepada seluruh Dosen-dosen Saya selama mengikuti program sarjana di Faperika UR, baik yang masih aktif maupun yang sudah pensiun bahkan yang telah mendahului kita, semoga Allah SWT memberikan pahala kepada mereka sesuai dengan jasa-jasa mereka dalam mentransper ilmu kepada saya. Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada Bapak Ir. Yusniar Hamidy, MS dan Ir. Ramli Taibin, SU selaku pembimbing saya pada program Sarjana Muda Perikanan, berkat bimbingan mereka saya dapat memperoleh gelar Sarjana Muda perikanan (BSc.) dan ini merupakan jembatan karir saya untuk mengikuti program Sarjana Perikanan (Ir.).

Ditengah-tengah puncak kegembiraan ini, izinkan pula Saya menyampaikan terima kasih kepada teman-teman Angkatan tahun 1979 Faperi (sekarang Faperika), khususnya Group Lampu Hijau yaitu Ir. Musrifin Galib, M.Sc., Ir. Bustari, M.Si, Ir. Sutarno, dan Ir. Zamsuria yang telah banyak membantu saya selama perkuliahan, terutama diskusi dan meminjamkan catatan kuliah selama kuliah di Faperika UR. Istimewa kepada sahabat karibku Drs. M. Nazif, Drs. Barsong Siregar (Alm), dan Ir. Makruf Maryadi Siregar, MS yang senasip sepenanggungan selama mengajar di SMA Kampar dan Air Tiris, demi

kebutuhan biaya perkuliahan untuk meraih sarjana sebagai cita-cita. Begitu juga kepada Ir. Eryan Huri, Dip.Sc. dan Ir. Sampe Harahap, MS selalu bersama untuk berdiskusi. Juga ucapan terima kasih kepada Bapak Drs. Oemar Jamil (mantan Kepala SMA Hang Tuah) (Alm), Drs. Ahmad Satim (mantan Kepala SMA Negeri 1 dan 2) (Alm), Drs. Darubani Lahasi, MS. (mantan Kepala SMA Airtiris) (Alm), HM. Yunus K. (mantan Pimpinan Pondok Pesantren Tg. Berulak) (Alm), Drs. W.S Wasri (Kepala SMA PGRI), Drs. Suardi Loekman, MSc. (Pengurus Yayasan Setia Darma), Hasan Basri BA (mantan Kepala SMA Kampar), dan sekolah-sekolah lainnya yang tidak disebutkan dalam narasi pidato pengukuhan saya ini bahwa mereka telah banyak membantu saya selama menjadi guru honor di sekolah-sekolah yang mereka pimpin.

Izinkan pula saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Drs. Topoi Menteng (Alm) atas segala budi baiknya, baik berupa nasehat maupun rumah tanpa sewa (Jalan A. Yani No. 108 A Pekanbaru). Nasehat beliau yang tidak dapat saya lupakan adalah “Jangan kau kecut kepada orang yang belajar di bawah lampu listrik, tetapi tunjukkan keberhasilanmu belajar dengan lampu teplok, karena keberhasilan belajar bukanlah dengan lampu listrik tetapi semakin hitam bulu hidungmu ketika mandi pagi, pertanda kamu telah banyak belajar pada malam itu”. Kepada Oppung Effendi Pohan (Alm) dan Uda Masdar Siregar juga saya mengucapkan terimakasih, karena berkat merekalah saya mau dan kuliah di Universitas Riau. Begitu juga, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Kanda Ir. Makmun Siregar yang banyak membantu dan memberikan pengarahan-pengarahan bagaimana cara-cara kuliah di FAPERI (sekarang Faperika Unri), dan tidak lupa juga ucapan terimakasih kepada rekan-rekan serumah di Jalan Lingga Gobah pada awal kuliah, khususnya kepada Arbain Hasibuan, BSc yang selalu setia membangunkan saya ketika terlambat bangun pagi.

Selanjutnya, izinkan saya untuk menyampaikan terima kasih saya kepada kanda Drs. Alimunir Asyani (mantan Dekan Fakultas Tarbiyah IAIN Susqa) yang memberikan peluang kepada saya untuk menjadi Dosen Luar Biasa di Tadris Matematika Fakultas Tarbiyah IAIN (sekarang UIN) dan Bapak Prof. Dr.

Tengku Dahril, MSc. yang menerima saya sebagai asisten beliau dalam mata kuliah Linier Programming yang diasuhnya di FKIP UIR. Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada Ibu Ir. Asna Ma'amoen, MSc., Bapak Drs. Syafril Anwar dan Ir. Yusniar Hamidy yang merekomendasikan saya untuk menjadi Dosen di Faperika UR.

Di tengah-tengah hari pengukuhan enam guru besar ini, berkenankan pula saya menghaturkan ucapan terimakasih kepada Bapak Drs. Samsuir Tasman dan Alamsyah, BA (mantan Kepala/wakil kepala SMA Negeri 1 Lubuk Sikaping), Ibu Raisah S. (mantan Kepala SMP Negeri 1 Lubuk Sikaping), dan Bapak Bustamin Harahap (Guru Kelas VI SD Sei Pimping) serta guru-guru saya selama belajar di SMA, SMP dan SD yang masih hidup maupun yang telah tiada, semoga Allah SWT mencatatkan pahala yang berlipat ganda atas didikan yang telah diberikan mereka kepada Saya sehingga saya menjadi seperti sekarang ini. Dan juga terima kasih kepada teman-teman seperjuangan ketika belajar di SMP dan SMA, khususnya Drs. Akmal (Kepala SMP Cendana Rumbai) dan Tohir Siregar yang selalu setia bersama-sama mencari kayu api ke hutan setelah pulang sekolah demi menutupi kekurangan biaya keperluan sekolah.

Pada hari keberuntungan yang cukup melegakan ini, izinkan pula saya untuk menyampaikan dari lubuk hati yang kasih dan sayang, saya haturkan rasa cinta serta terima kasih yang tak terhingga kepada Istri tercinta Yumna, S.Pd dengan kesetiaannya, ketabahannya dan kesabarannya untuk mengharungi perjalanan hidup ini, baik dikala susah maupun dikala senang. Terutama ketabahan hati dan kesabarannya dalam mengurus Anak-anak dengan tulus dan ikhlas kiranya Allah SWT mengangkat derajatnya menjadi isteri yang solehah seiring dengan pengukuhan guru besar saya pada hari ini. Kepada anak-anakku yang tercinta Veraminah Sandriosa Putri, Diana Sriwisada Putri, S.Pi, Hengki Firmanda. S., SH., Edi Yusuf Adiman, dan Raja Multi Konvokesyen Adiman juga saya mengucapkan terima kasih, berkat kepatuhan dan kenakalan-kenakalan mereka berorantua, namun semua keluh kesah dan gembira ria mereka merupakan obat dan penyemangat hidup bagi Saya dalam mengharungi kehidupan ini. Semoga anak-anakku ini semua menjadi generasi penerusku dan mereka dapat

melebihi keberhasilan yang kuraih pada saat ini dan semoga Allah SWT memberikan kepada mereka kelak suatu kelebihan yang melebihi keberhasilan yang kuraih pada hari ini. Amin !

Pada kebahagiaan yang tak terucapkan saat ini, pandangan Saya tertuju kepada kedua Orang Tua saya yang telah tiada yaitu Almarhum Ayahanda Komis Siregar Alias Mangaraja Imbang dan Ibunda Hj. Nurhasanah yang telah melahirkan, menimang-nimang ketika kecil dan membesarkan serta mendidik Saya dengan penuh kasih sayang dan keikhlasan mereka adalah pelita dalam hidup Saya, dari lubuk hati yang paling dalam Saya haturkan rasa bakti, rasa hormat, serta terima kasih yang tak terhingga, semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala amal perbuatan mereka, apalagi secara fisik mereka tidak dapat menyaksikan puncak pengukuhan saya yang dilaksanakan pada hari ini. Begitu juga, kepada Bapak dan Ibu Mertua Ayahanda M. Saleh (Alm) dan Ibunda Siti Rahma (Alm) yang telah banyak mendidik istri saya dengan penuh kasih sayang dan keikhlasan mereka adalah kerukunan dalam rumah tangga saya, dari hati yang tulus Saya haturkan rasa hormat, serta terima kasih yang tak terbilang, kiranya Allah SWT menempatkan mereka ditempat yang baik, sayangnya mereka tidak dapat menyaksikan puncak pengukuhan saya pada hari ini.

Kemudian, perkenankan pula saya untuk menyampaikan dari lubuk hati yang suci saya haturkan rasa hormat serta terima kasih yang tak terhitung kepada orang tua angkatku bapak H. Razali dan ibunda Hj. Roslaini yang telah banyak membantu dan memotivasi saya untuk menuju jenjang kehidupan berumah tangga. Selanjutnya, kepada adik-adikku Ismail, S.Pd., Rosmawati (Almarhumah), Drs. Akhirman, M. Fajar, A.Md., Asran, Sinar Wana, dan Herman, serta Abang, kakak dan Adik-adik Ipar saya, Khairun Saleh (Alm), Jasmaniar, Ir. M. Aris Saleh, MS., Mijani, A.Ma.Pd. (Alm), Mudasir (Alm), Dra. Martini, Zulfahmi, Hasnidar, Mardiah, Rahmadanis, dan Mazdalena yang selalu akrab dan memberikan motivasi kepada saya sehingga Saya pada hari ini bisa mencapai pada puncak karir akademik ini.

Pada kesempatan ini juga Saya sampaikan ucapan terima kasih kepada Panitia yang telah bertungkus lumus menyiapkan acara pengukuhan ini, semoga apa yang telah diberikan menjadi amal dan hanya Allah SWT yang dapat membalas kebaikan Bapak-bapak dan Ibu-ibu.

Memang untuk memperoleh gelar guru besar bukanlah suatu hal yang mudah, tetapi banyak sekali rintangan dan cobaan yang harus dilalui. Tiga hari detik-detik saya diviva (diuji pada ujian terbuka S-3) ayahanda tercinta (Almarhum) dipanggil oleh Allah SWT, sehingga saya tidak berjumpa dengan ayahanda tercinta, namun wajah ayahanda selama viva tetap terbayang, seminggu kemudian barulah saya pulang ke tempat orang tua, tetapi apakah daya ayahanda sudah tiada hanya tetesan air mata yang dapat dikeluarkan. Persis delapan bulan yang lalu ibunda tercinta pula dipanggil oleh Allah SWT, sehingga pada hari yang berbahagia ini beliau tidak dapat menyaksikannya. Timbullah renungan di tengah malam saat menulis ucapan terimakasih ini, seperti syair di bawah ini :

Sebelum aku ada dimanakah aku,
Sesudah aku ada,
Seketika aku belum tahu siapa aku,
Setelah aku bisa bicara, aku pandai memanggil ayah dan ibu,
Setelah aku besar, aku disekolahkan oleh ayah dan ibuku,
Setelah aku pandai mencari hidup, aku diambil istriku,
Setelah aku mulai berkarir, ayah dan ibuku telah tiada,
Setelah aku Guru besar, bagaimana aku mengabdikan kepada mereka
Semua kuserahkan diriku kepada Tuhanku... Amin

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, saya akhiri pidato ilmiah ini. Wabillahi Taufiq Walhidayah. Assalamu 'Alaikum Warhamatullahi Wabarakatuh.

RIWAYAT HIDUP

IDENTITAS PRIBADI

Nama Lengkap : Prof. Dr. Ir. Syafriadiman, MSc_(ug).
 NIP : 131 640 268
 Pangkat/Golongan : Pembina Tingkat I/IV b
 Jabatan : Guru Besar Tetap Dalam Bidang
 Manajemen Kualitas Air
 Unit Kerja : Jurusan Budidaya Perairan, Fakultas
 Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas
 Riau
 Tempat dan Tanggal Lahir : S. Padang, 05-09-1959
 Jenis Kelamin : Laki-laki
 Agama : Islam
 Nama Ayah : Komis Siregar (Mangaraja Imbang) (Alm)
 Nama Ibu : Hj. Nurhasanah (Alm)
 Status Keluarga : Menikah dengan Yumna S.Pd. (45 tahun)
 dikaruniai 5 orang anak :
 1. Veraminah Sandriosa Putri (16/06/'84)
 2. Diana Sriwisuda Putri, S.Pi. (27/05/'85)
 3. Hengki Firmanda S., S.H. (28/07/'86)
 4. Edi Yusuf Adiman (05/04/'91)
 5. R. Multi Konvokesen Adiman S.
 (28/5/'96)
 Alamat Rumah : Jl. Rajawali Sakti. Komplek Rajawali
 Sakti, Blok L No. 12 Simpang Baru,
 Pekanbaru
 Telp. (0761) 64682
 Fax. (0761) 64682
 Alamat Kantor : Kampus Binawidya KM 12,5 Simpang
 Baru-Panam, Pekanbaru.

Telp. (0761) 63274, 63275

Fax. (0761) 63275

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Strata 3 (Doktor Filosofi, Ph.D), Marine Science Department, Fakultas Sains Sumber Alam, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia 1999.
Thesis : Biology, Toxicology and Culture of Oyster (*Crassostrea irredalei*)
2. Strata 2 (Magister Science). Marine Science Department, Fakultas Sains Sumber Alam, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia upgrade to Ph.D. 1997. Taraf pendidikan dinaikkan ke Ph.D tanpa MSc. Berdasarkan kelayakan beliau yang Cemerlang (Surat Keputusan Senat FSSA UKMS Kampus Sabah No. 25/UKM).
Thesis : -
3. Strata 1 (Insinyur, Ir.). Program Studi Teknologi Penangkapan Ikan, Fakultas Perikanan (sekarang Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan) Universitas Riau, Pekanbaru 1984.
Thesis : Pengaruh Besar Mulut Taban-taban Terhadap Hasil Tangkapan Ikan di Perairan Danau Bingkuang, Kampar, Riau.
4. Sarjana Muda (BSc.). Program Studi Teknologi Penangkapan Ikan, Fakultas Perikanan (sekarang Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan) Universitas Riau, Pekanbaru 1982.
Skripsi : Keadaan Umum Perikanan di Kecamatan Kampar, Riau.
5. SMA (Sekolah Menengah Atas) Negeri 1 Lubuk Sikaping, Lubuk Sikaping 1979.
6. MAN (Madrasah Aliyah Negeri) Pekanbaru 1982
7. SMP (Sekolah Menengah Pertama) Negeri 1 Lubuk Sikaping, Lubuk Sikaping 1975.
8. SD (Sekolah Dasar) Negeri Kuamang, Rao MT 1969.

KURSUS/PELATIAHAN

- | | |
|------|---|
| 1989 | Peserta Kursus Komputer, Universitas Riau Pekanbaru, 24 Januari - 03 Maret 1989 |
| 1995 | Peserta Pelatihan Pengelolaan Kualitas Air, Universitas Riau Pekanbaru, |

19-20 Desember 1999

- 1995 Peserta Kursus EIA (Environment Impact Assesment), UKMS Sabah Malaysia, 05 November 1994 - 04 Februari 1995
- 1995 Peserta Kursus WTT (Waste Treatment Technology), UKMS Sabah Malaysia, 10 Oktober - Desember 1995
- 1999 Peserta Pelatihan Penyusunan SAP, Universitas Riau Pekanbaru, 20-21 April 1999
- 1999 Peserta Pelatihan Metode Vaksinasi Pada Ikan, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, 10 Mei 1999
- 2000 Peserta Workshop “Strategic Supplay Chain Management in Pharma, Scotts Hotel, Singapore. 29-30 Septeber 2000
- 2001 Peserta Pelatihan Nutrisi, Faperika Universitas Riau Pekanbaru,. Tanggal 01 Februari 2001 di Pekanbaru
- 2001 Peserta Pelatihan Formulasi Pakan Ikan, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, 16 Februari 2001
- 2001 Peserta Pelatihan Pembenihan Pelbagai Jenis Ikan Marin, KO-NELAYAN, Sabah Malaysia, 10 Januari - 20 Februari 2001
- 2001 Peserta Pelatihan Teknik Pengendalian Penyakit Secara Immunologi pada Ikan, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, 24 Januari 2001
- 2001 Peserta Pelatihan Nutrisi Larva dan Benih Ikan, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, 1 Februari 2001
- 2001 Peserta Pelatihan Pengelolaan Kualitas Air, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, 30 Januari 2001
- 2002 Peserta Pelatihan Peran Pakan dalam Budidaya Ikan dan Udang 06 Februari sd 07 Februari 2002
- 2002 Peserta Pelatihan Peran Lingkungan dalam Usaha Budidaya Ikan Air Tawar, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, 11 Februari 2002
- 2002 Peserta Pelatihan Metode Penelitian Budidaya Perikanan, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, 05 Maret 2002
- 2004 Peserta Pelatihan Pengolahan dan Presentasi Data Proyek SP4 Jurusan Budidaya Perairan, Faperika Unri 7-11 Juni 2004
- 2004 Peserta Pelatihan Pembuatan preparat histology, Faperika Universitas Riau Pekanbaru, Tanggal 2-4 Agustus 2004 di Pekanbaru
- 2004 Peserta Pelatihan Pembuatan Preparat Histologis Proyek SP4 Jurusan Budidaya Perairan, Faperika Unri 2-4 Agustus 2004

- 2004 Peserta Pelatihan Intensif Strategi Efektif Menghadapi Proses Akreditasi oleh BAN-PT agar mencapai hasil yang optimal, Panama Hotel Jakarta, 30 September 2004
- 2004 Peserta Pelatihan Pengelolaan Kualitas Air, Faperika UR Pekanbaru, 30 Januari 2004
- 2005 Peserta Pelatihan Peningkatan Kinerja Pengelolaan dan Pemanfaatan Laboratorium, Faperika UR Pekanbaru, 29-30 November 2005

PENGHARGAAN DAN TANDA JASA

- 2008 Dosen Teladan I Faperika Universitas Riau Tahun 2008
- 2008 Dosen Teladan III Universitas Riau Tahun 2008
- 2008 Satya Lencana Pengabdian 20 Tahun PNS Tahun 2008

RIWAYAT PEKERJAAN 1979-2009

- 1979-1982 Guru Honorer di SMP Hang Tuah dengan mata pelajaran Matematika dan IPA
- 1980-1982 Guru Honorer di SMA Hang Tuah dengan mata pelajaran Matematika dan Kimia
- 1979-1984 Guru Honorer di SMA Air Tiris dengan mata pelajaran Matematika, Tata Buku, Hitung Dagang, Fisika dan Kimia
- 1980-1984 Guru Honorer di SMA Kampar dengan mata pelajaran Matematika dan Kimia
- 1980-1987 Guru di SMA PGRI Pekanbaru dengan mata pelajaran Matematika, IPBA dan Bahasa Jepang
- 1985-1986 Guru Honorer di SMA Setia Dharma dengan mata pelajaran Matematika dan Kimia
- 1982-1984 Guru Honor di SMA Negeri 2 Pekanbaru dengan mata pelajaran Matematika dan Kimia
- 1981-1983 Guru Honorer di MAS Pondok Pesanteren Tg. Berulak dengan mata pelajaran Matematika dan Tata Buku
- 1980-1983 Guru Honorer di Tsanawiyah (Diniyah Putri) Yayasan Aisiyah Pekanbaru dengan mata pelajaran Matematika dan IPA
- 1981-1984 Dosen Luar Biasa FKIP UIR dalam mata kuliah Aljabar Himpunan, Kalkulus 1 dan Linear Programming

- 1982-1987 Dosen Luar Biasa IAIN SUSQA dalam mata kuliah Aljabar Himpunan, Aljabar Linier dan Kalkulus
- 1986-1996 Dosen Tetap Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau dalam matakuliah Matematika, Statistik, Klimatologi, Oseanografi, Pengamtar Kapal Perikanan, Rancangan Kapal Penangkapan, Rancangan Alat I dan II, Kimia Laut dan Fisheries Oseanografi
- 1997-1999 TA pada FSSA UKMS, Sabah dalam mata kuliah Oceanografi, Marine Chemistry, Algologi, Invetebrata, Statistika dan Ecology
- 1998 Pensyarah pada USM dalam matakuliah Matematika dan Statistik, Juli-Desember 1998
- 1999-sekarang Dosen Tetap Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau dalam matakuliah Matematika Dasar, Pengolahan Data Perikanan, Budidaya Moluska, Pengelolaan Kualitas Air, Pengelolaan Kualitas Tanah Dasar Kolam, Planktonologi, Toksikologi Akuakultur, Kimia Dasar, dan Histologi Ikan
- 1 Mei 2009-sekarang Guru Besar dalam matakuliah Manajemen Kualitas Air

RIWAYAT KEPANGKATAN

- 01-03-1986 Calon Pegawai Negeri Sipil dengan golongan IIIa
SK Mendikbud R.I. No:469/PT.22./G.39/1986
- 01-04-1987 Diangkat menjadi PNS dengan golongan IIIa
SK Mendikbud R.I. No: 83.PT.22.H2/C/1987
- 01-04-1987 Penata Muda dengan golongan IIIa
SK Mendikbud R.I. No: 83/PT.22.H2/C/1987
- 01-10-1989 Penata Muda Tk. I dengan golongan IIIb
SK Mendikbud R.I. No: 25/PT.22.H2/C/1990
- 01-10-1991 Penata dengan golongan IIIc
SK Mendikbud R.I. No: 167/PT.22.H2/C/1992
- 01-04-1994 Penata Tk. I dengan golongan IIId
SK Mendikbud R.I. No: 1643/PT.22.H2/C/1994
- 01-04-2006 Pembina dengan golongan IVa
SK Mendikbud R.I. No: 38631/A2.7/KP/2006

01-04-2008 Pembina Tkt. I dengan golongan IVb
SK Mendikbud R.I. No: 16776/A4.5/KP/2008

RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

01-04-1988 Asisten Ahli Madya, SK Mendikbud R.I. No:031/PT.22.H/C/1988
01-05-1989 Asisten Ahli, SK Mendikbud R.I. No: 34/PT.22.H/C/1989
01-07-1991 Lektor Muda, SK Mendikbud R.I. No:559/PT.22.H./C/1991
01-02-1994 Lektor Madya, SK Mendikbud R.I. No:310/PT.22.H/C/1994
20-03-2001 Lektor, SK Mendikbud R.I. No:349/J19/KP/2001
01-11-2005 Lektor Kepala
SK Mendikbud R.I. No:42343/A2.7/KP/2005
01-05-2009 Guru Besar dalam Bidang Manajemen Kualitas Air
SK Mendikbud R.I. No: 34030/A4.5/KP/2009

RIWAYAT JABATAN STRUKTURAL

1987-1991 Sekretaris Prodi Teknik Penangkapan Ikan, Fakultas Perikanan
Universitas Riau
1991-1996 Ketua Prodi Teknik Penangkapan Ikan, Fakultas Perikanan
Universitas Riau
2000-sekarang Kepala Laboratorium Pengelolaan Kualitas Air dan Tanah

RIWAYAT JABATAN LAIN-LAIN

1980-1982 Kepala Sekolah SMP Hang Tuah Pekanbaru
1982-1983 Pembina Siswa SMA PGRI Pekanbaru
1984-1988 Kepala Sekolah Taman Madya Perg. Taman Siswa Pekanbaru
1986-1996 Anggota senat Fakultas Perikanan utusan Prodi Teknik
Penangkapan Ikan
1995 Satgas Pameran Fakulti Sains Sumber Alam, UKMS Kota
Kinabalu Sabah, 27-30 September 1995
1997-sekarang Anggota Persatuan Analisis Kimia Malaysia (Sejak tahun 1997-
sekarang) 31 Juli 1997 selama 7 tahun No Anggota A 120
1998-sekarang Anggota Forum Kajian Komuniti Pesisir Universitas Indonesia

	(UI) Jakarta selama 5 tahun dari 17 Desember 1998
1998-sekarang	Anggota ISSOI Jakarta selama 6 tahun (Tahun 1998-sekarang)
1999-2003	Anggota Dewan Pakar Daerah 23 September 1999
1999	Anggota Panitia Technical Assistance : Pengelolaan Kualitas Air 19-20 Oktober 1999
1999-2001	Anggota Tenaga Ahli dan Pengelolaan Komunikasi Ilmiah pada Lembaga Penelitian Universitas Riau (Tahun 1999-2001) 01 April 1999
1999-2003	Anggota Dewan Research Grant DUE-Project UNRI Pekanbaru 24 Februari 1999
1999-2003	Tim Satgas Proyek DUE Program Studi BDP Faperika UNRI Tahun 1999-2000 selama 4 semester
1999-2003	Ketua Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Air dan Budidaya Ikan Tahun 1999-2003 (selama 4 tahun) sampai sekarang
1999-2004	Anggota senat Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan utusan Prodi. Budidaya Perairan
2001	Ketua Pelaksana Technical Assistance : Pengelolaan Kualitas Air 30 Januari 2001
2001	Tim Tenaga Ahli dan Pengelolaan Komunikasi Ilmiah pada Lemlit UNRI April 2001 selama 2 tahun
2001-2003	Tim Editor Majalah Tabliqul Amanah DPD MUI Pripinsi Riau
2002-2007	Ketua Stasiun Pusat Pengembangan Perikanan Darat Koto Panjang Kabupaten Kampar, Riau
2003	Tim Pelaksana Kegiatan Jurusan Budidaya Perairan tahun 2003 selama 3 semester
2004	Tim Pengawas SPMB 2004
2004-2005	Ketua Tim Penyusunan BAN (Badan Akreditasi Nasional) Jurusan Budidaya Perairan
2004-2006	Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Teknologi Budidaya Perairan Faperika UNRI SK. No. 443
2004-2009	Ketua Komite SD Neg 032 Tampan Pekanbaru SK. No. 30
2005	Ketua Panitia Acara Syukuran Jurusan BDP Faperika UNRI Atas Nilai Akreditasi "A". SK No. 223
2005-sekarang	Pimpinan Penerbit MM Press CV. Mina Mandiri
2006	Koordinator Lokasi Faperika UMPTN Tahun 2006/2007
2006	Anggota Panitia Penyelenggara Konferensi Nasional V

- 2007 Pengelolaan Pesisir, Laut dan Pulau-pulau Kecil. SK No. 118.
Instruktur/Narasumber Pelatihan Manajemen Laboratorium Prog. Hibah Komptisi SP4 Batch III Jurusan Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya. Tanggal 05 -12-2007. Indralaya Palembang.
- 2007 Narasumber Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian Bidang Perikanan Tanggal 06-12-2007 Ruang Rapat Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya, Palembang.
- 2007 Peserta Semiloka Integritas Ilmu dan Islam dalam Praktek Pembelajaran di Lingkungan UIN Suska Riau. Tanggal 10-14 Desember 2007
- 2007 Wakil Koordinator Lokasi Fekon UMPTN Tahun 2007/2008
- 2008 Anggota Panitia Pengukuhan Guru Besar A.n. Dr. Yohannes Umar dan Dr. Sukendi. SK No 70
- 2008-sekarang Ketua Monev Jurusan Budidaya Perairan Faperika
- 2009 Koordinator Lokasi Faperika UMPTN Tahun 2009/2010
- 2009-sekarang Anggota Tim Pemeriksa Fungsional Dosen Faperika Univ. Riau
- 2007-2012 Ketua Tim Monev Jurusan BDP. SK No. 138.

PERKULIAHAN

Progam D3

- Matematika Dasar (2001-sekarang)
Pengelolaan Kualitas Air (2001-sekarang)
Pengelolaan Kualitas Tanah Dasar Kolam (2001-sekarang)
Planktonologi (2001-2008)

Program S1

- Matematika Dasar (1999-sekarang)
Pengolahan Data Perikanan (1999-sekarang)
Budidaya Moluska (1999-2004)
Pengelolaan Kualitas Air (1999-sekarang)
Pengelolaan Kualitas Tanah Dasar Kolam (1999-sekarang)
Planktonologi (1999-2008)

Toksikologi Akuakultur (1999-sekarang)

Kimia Dasar (2008-sekarang)

Histologi Ikan (2008-sekarang)

BUKU/BAHAN AJAR

- 2005 Perbaikan Proses Pembelajaran Mata Kuliah Manajemen Kualitas Air. Faperika Universitas, Riau Pekanbaru
- 2005 Prinsip Dasar Pengelolaan Kualitas Air. MM Press. ISBN 979-25-3160-2
- 2006 Teknik Pengolahan Data Statistik. MM Press. ISBN 979-25-3162-9
- 2007 Pengantar Toksikologi Akuakultur. MM Press. ISBN 978-979-25-3167-1
- 2007 Manajemen Laboratorium BDP. Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya.
- 2008 Budidaya Moluska : Biologi, Toksikologi dan Pengkulturan Tiram (*Crassostrea irededei*). MM Press. ISBN 978-979-18660-1-9
- 2008 Dasar-dasar Histologi Ikan. MM Press. ISBN 978-979-25-3168-8
- 2009 Planktonologi. (Sedang Proses Penerbitan/Pengusulan No. ISBN)
- 2009 Pengantar Pengelolaan Kualitas Tanah Dasar Kolam (Sedang Proses Penerbitan/Pengusulan No. ISBN)

PEMBIMBINGAN MAHASISWA

Telah meluluskan lebih dari 200 orang sarjana dan diploma 3

PUBLIKASI

- 1994 Distribution of Meiobenthos and Macrobenthos at the mouth of Inanam River, Sabah Malaysia. Indian Journal of Marine Science, 24:131-143.
- 1994 Kajian Biologi dan Pengkulturan Tiram *Crassostrea irededei*. Kolokium Siswazah Lanjutan, FSSA, UKM. 12 April 1994.
- 1994 Pengaruh berat pemberat jala terhadap hasil tangkapan ikan motan (*Thynnichthys thynoides*) di danau Kejuit Kec. Langgam, Kab Kampar. Jurnal Penelitian Universitas Riau. Vol. 12: 15-22. April 1994.
- 1995 Population Dynamics and Biology of Mackerel in the west coast of Sabah, Malaysia. Research grant of Ko-Nelayan Sabah No. 15 Tahun 1995.
- 1995 Penghasilan Benih (Spat) Tiram *Crassostrea irededei*. Prosiding Kolokium Alam III, FSSA, UKM. 1995

- 1996 Ketoksikan Logam Berat Terpilih ke atas spat tiram, *C. iredalei*. The Malaysian Journal of Analytical Science. Vol 2 No. 2. Tahun 1996.
- 1997 Some physical and chemical characteristic of west Sabah coastal water. The Malaysian Journal of Analytical Science. Vol 3 No. 2. Tahun 1997.
- 1998 Rangsangan Pemijahan dan Kelulushidupan larva tiram. Terubuk Faperika Unri.
- 2000 Studi biologi tiram *C. Iredalei* di perairan Pantai Barat Sabah, Malaysia. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian UNRI. Tahun 2000.
- 2000 Percobaan pemeliharaan tiram *C. Iredalei* di perairan Pantai Barat Sabah, Malaysia. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian UNRI. Tahun 2000.
- 2001 Toksisitas Beberapa Logam berat terhadap tiram *C. Iredalei*. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian UNRI. Tahun 2001.
- 2001 Percobaan spawning tiram *C. Iredalei*. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian UNRI. Tahun 2001.
- 2001 Penentuan bio-indikator Pencemaran : Toksisitas limbah industri terhadap organisme makrozoobentos dari perairan Sungai Siak Pekanbaru. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian UNRI. Tahun 2001.
- 2001 Toksisitas Beberapa Logam berat terhadap tiram *C. Iredalei*. Laporan Hasil Penelitian Pusat Penelitian UNRI. Tahun 2001.
- 2001 Pembenihan Ikan Kerapu di Proyek Pengeluaran Benih Laya-laya, Sabah, Malaysia. Ko-Nelayan Sabah, Malaysia. Tahun 2001.
- 2002 Toksikologi Berbagai Berbagai Hasil Buangan Industri Ke atas Merozoobentos Siput Hisap, *Syncera* sp. Simposium Kimia Analisis Malaysia Kebangsaan ke-15 (SKAM-15). 22-23 Juni 2002.
- 2002 Identification and Classification of *Kryptopterus adimanensis*. Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoologi : 37(2):188-220.
- 2005 Static Acute Toxicity Heavy Metals to Sveral of Marine Organism. Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol.10 No.1 Juni 2005 ISSN. 0853-7607 (Akreditasi) No. 55/DIKTI/Kep/2005
- 2006 Larval Development of Oyster *Crassostrea iredalei* in Laboratory Condition. Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol.11 No.1 Juni 2006 ISSN. 0853-7607 (Akreditasi) No. 55/DIKTI/Kep/2005
- 2006 Toksisitas Akut dan Uji Sub kronik Logam Berat Zn (Zink) terhadap benih ikan gurami (*Osphronemus gouramy*, Lac) (Ketua). Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol.11 No.2 Desember 2006 ISSN. 0853-7607 (Akreditasi) 55/DIKTI/Kep/2005.

- 2007 Ancaman dan strategi penanganan Kerusakan Lingkungan Perairan : Perairan Semakin Toksik dan Alternatif Penanggulangannya. Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian Bidang Perikanan.
- 2007 Bioremoval Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Alternatif Penanggulangan Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Limbah Industri Minyak Bumi PT. CPI Minas, Riau. Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian Bidang Perikanan.
- 2007 Uji Toksisitas Akut dan Sub-akut Logam Berat Cd terhadap Benih Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*, Burchell) (Mandiri). Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol 12 No.2 Des 2007 ISSN. 0853-7607 (Akreditasi) No. 55/DIKTI/Kep/ 2005
- 2007 Toksitas Limba Industri Kelapa sawit Terhadap Kelimpahan Algae Hijau (*Ulothrix implexa*) (Mandiri). Jurnal Berkala Perikanan Terubuk Vol 35 No.1 Februari 2007 ISSN -0126-4265 Akreditasi No. 231/DIKTI/Kep/2004.
- 2007 Jenis Kelimpahan Zooplankton dengan Pemberian Dosis Pupuk Kotoran Burung Puyuh yang Berbeda (Anggota). Jurnal Berkala Perikanan Terubuk Vol 35 No.1 Februari 2007 ISSN -0126-4265 Akreditasi No. 231/DIKTI/Kep/2004
- 2007 Penggunaan Kitosan dari Kulit Udang dalam menurunkan kadar TSS (Total Suspended Solid) pada limbah cair industri plywood). Makalah Pada Seminar Nasional Ilmu-ilmu Perikanan Jurusan Budidaya Perairan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Pada Tanggal 06 Desember 2007.
- 2007 Budidaya Moluska : Biologi, Toksikologi dan Pengkulturan Tiram (*Crassostrea iredalei*) (Mandiri). Buku ISBN 978-979-18660-1-9
- 2008 Pemberian Ekstrak kayu siwak (*Salvadora persica* L) untuk meningkatkan kekebalan ikan mas (*Cyprinus carpio*, L) yang dipelihara dalam keramba, Jurnal Biodiversitas Vol.9 No.1 Januari 2008 ISSN. 1412-033X (Akreditasi)
- 2008 Penentuan Tingkat Kematangan Gonad (TKG) dan Tanda-tanda Spesifik Morfologis Jenis Kelamin Tiram *Crasostrea iredalei*. Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol 13 No.2 Des 2008 ISSN. 0853-7607 (Akreditasi) No. 55/DIKTI/Kep/ 2005 (Akreditasi)

PENELITIAN

- 1992 Penempelan biota laut terhadap beberapa bahan bangunan dermaga dan

- kapal perikanan untuk berbagai sudut peredaran semu matahari di perairan Pelabuhan Dumai, Kabupaten Bengkalis, Riau. Laporan Proyek Pengembangan Pendidikan Ilmu Kelautan, Depdikbud, Jakarta.
- 1995 Penghasilan Larva Ikan Kerapu. Laporan Grant 09/1995, Korporasi Nelayan (Ko-Nelayan) Sabah, Kementerian Sabah, Malaysia.
- 1995 Penghasilan Larva Ikan Siakap. Laporan Grant 09/1995, Korporasi Nelayan (Ko-Nelayan) Sabah, Kementerian Sabah, Malaysia.
- 1997 Biologi dan Pengkulturan Tiram (*Crassostrea irededei*). Laporan Grant 062/UKM, Fakultas Sains Sumber Alam, UKMS, Sabah Malaysia.
- 1999 Biologi, Toksikologi dan Pengkulturan Tiram (*Crassostrea irededei*). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau (Mandiri).
- 2000 Sistematika dan Taksonomi ikan selais of *Kryptopterus adimanensis*. Laporan Penelitian, Faperika Universitas Riau Pekanbaru.
- 2001 Sistematika dan Taksonomi ikan selais *Kryptopterus kamparinensi*. Laporan Penelitian, Faperika Universitas Riau Pekanbaru (Mandiri).
- 2002 Larval Development of Oyster *Crassostrea irededei* in Laboratory Condition (Ketua). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau (Mandiri).
- 2002 Toksisitas Akut dan Uji Sub kronik Logam Berat Zn (Zink) terhadap benih ikan gurami (*Osphronemus gouramy*, Lac) (Ketua). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau (Mandiri).
- 2003 Bioremoval Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Alternatif Penanggulangan Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Limbah Industri Minyak Bumi PT. CPI Minas, Riau. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau (Mandiri).
- 2003 Uji Toksisitas Akut dan Sub-akut Logam Berat Cd terhadap Benih Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*, Burchell). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau (Mandiri).
- 2004 Kajian awal ketoksikan limbah industri karet PT. Rycri terhadap berbagai organisme budidaya perikanan. Laporan Hasil Penelitian PT. Rycri tahun 2004.
- 2004 Toksitas Limba Industri Kelapa sawit Terhadap Kelimpahan Algae Hijau (*Ulothrix implexa*). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau (Mandiri).
- 2004 Jenis Kelimpahan Zooplankton dengan Pemberian Dosis Pupuk Kotoran Burung Puyuh yang Berbeda Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau (Mandiri).

- 2006 Pemberian Ekstrak kayu siwak (*Salvadora persica* L) untuk meningkatkan kekebalan ikan mas (*Cyprinus carpio*, L) yang dipelihara dalam keramba (Anggota). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Riau

SEMINAR/NARA SUMBER/INSTRUKTUR/TENAGA AHLI

- 1994 Pemakalah pada Seminar “ Sumber-sumber Semulajadi” di FSSA, UK Malaysia Sabah Kota Kinabalu, 29-30 September 1994, dengan judul “Biologi Tiram *Crassostrea iredalei* di Pantai Barat Sabah, Malaysia”.
- 1994 Pemakalah pada seminar Kimia Analisis, Jabatan Kimia, FSSA, UK Malaysia Sabah Kota Kinabalu, 15-16 Februari 1994, dengan judul Kandungan logam berat dalam daging tiram *Crassostrea iredalei* dan kupang *Perna viridis* dari perairan Kg. Serusup, Tuaran, Sabah, Malaysia.
- 1995 Pemakalah pada “Kolokium Alam III”, FSSA, UK Malaysia Sabah, di Pulau Manukan Sabah, Malaysia, 13-15 November 1995 dengan judul “Penghasilan Benih Tiram *Crassostrea iredalei*”
- 1996 Pemakalah pada Seminar Akuakultur dan Persekitaran “29-30 April 1996 di UK. Malaysia Kota Kinabalu, dengan judul “Biology and Culture of Oyster *Crassostrea iredalei* “.
- 1996 Pemakalah pada “Simposium Kimia Analisis Malaysia ke 9 (SKAM-9) di Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia, 14-16 Agustus 1996, dengan judul : “Ketoksikan logam berat terpilih ke atas spat tiram *Crassostrea iredalei*.”
- 1997 Pemakalah pada seminar “Aquatic Toxicology” 11-12 Februari 1997 Environmental Department, Faculty of Science, Shanghai University, China. Judul : Static Acute Toxicity Heavy Metals to Several of Marine Organism.
- 1997 Peserta pada Seminar “Peringatan HUT RI Ke 52, Himpunan Pelajar Indonesia, KBRI-Kuala Lumpur dan ICMI ORWIL Asia Tenggara 22 Agustus 1997 di Aula Kedubes RI Kuala Lumpur
- 1998 Pemakalah pada Seminar “Ecology and Fish culture” 12-14 Juni 1998. Tianjin Hotel, Tianjin, China. Judul makalah “Larval Development of Oyster *Crassostrea iredalei* in Laboratory Condition”.
- 1998 Peserta Kongres Nasional IV ISOI 30 Juli 1998 di Jakarta.
- 1999 Peserta Technical Assistance : Metoda Vaksinasi Pada Ikan 10 Mei 1999
- 1999 Pemakalah Seminar Hasil Penelitian Dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu

- 1999 Kelautan Universitas Riau 14 sd 15 April 1999 dengan Judul Biologi, Toksikologi dan Pengkulturan Tiram, *Crassostrea irredalei*
Peserta Seminar Pengembangan Program Studi PSP masa depan (Era Globalisasi) 17 Mei 1999 di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau
- 2000 Narasumber utama pada pelatihan analisis data statistik dengan menggunakan Prog. SPSS untuk dosen-dosen IAIN Susqa Pekanbaru.
- 2000 Narasumber Pengenalan konstruksi dan rancangan alat tangkap rawai (mini long line) hasil analisa dan modifikasi tali cabang desain setengah kawat baja pada nelayan desa Tg. Punak, Rupert. Tahun 2000
- 2000 Peserta Lokakarya Kurikulum Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNRI 21 November 2000
- 2001 Oral paper : Taxonomy of *Kryptopterus adimanensis*. Department of Zoology, British Museum (Natural History), Cromwell Road London, SW7 5BD, UK.
- 2001 Peserta Seminar Hasil Degree dan Non Degree training 16 Januari 2001
- 2002 Peserta Seminar Kebudayaan Melayu dalam Rangka Mencapai Visi Riau 2020 26 September 2002
- 2002 Oral paper : Taxonomy of *Kryptopterus kamparinensi*. Department of Zoology, British Museum (Natural History), Cromwell Road London, SW7 5BD, UK.
- 2003 Tim Workshop Perencanaan Penelitian Jangka Panjang 22 April 2003
- 2004 Tim Temu Pakar Perikanan Riau dengan Menteri Kelautan dan Perikanan RI 31 Juli 2004
- 2007 Instruktur Pelatihan Pemijahan Buatan Ikan Selais Terang Bulan (*Kryptopterus adimanensis*) dengan Penyuntikan Ovaprim di Kecamatan Kampar, Riau
- 2007 Instruktur Pelatihan Pemanfaatan *flyash* secara aplikatif terhadap usaha budidaya perikanan di Desa Okura Pekanbaru
- 2007 Narasumber dalam Pelatihan Manajemen Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Indralaya, Sumatera Selatan. UNSRI Palembang.. Surat Kesedian No. 055.
- 2007 Keynote Speaker pada Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian Bidang Perikanan. UNSRI Palembang. Surat Kesedian No. 053
- 2008 Narasumber dalam Pelatihan Peningkatan Kemampuan Aparatur Pemerintah daerah Dalam Pemantauan Kualitas Lingkungan. 21-23

Agustus 2008. Surat Kesedian No. 412

PENGALAMAN ORGANISASI

1984-sekarang	Ketua Yayasan Indonesia Jepang (Indonesian-Japan Foundation)
2000-sekarang	Ketua Yayasan Riau Bersatu
2000-2005	Wakil Ketua Umum IKPR Propinsi Riau
2003-sekarang	Sekjen IKBMR Propinsi Riau
2005-sekarang	Sekretaris Pengurus Yayasan Hudallinnas
2006- sekarang	Badan Pengawas Yayasan Alkautsar RW10 Simpang Baru, Tampan, Pekanbaru

Pekanbaru, 15 Agustus 2009.
Yang membuat,

d t o

Prof. Dr. Syafriadiman



RINGKASAN PIDATO

PROF. DR. SYAFRIADIMAN

**Disampaikan Pada
Penguhan Jabatan Guru Besar Tetap
Di Depan Rapat Senat Terbuka Universitas Riau
Sabtu, 15 Agustus 2009**

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,
Salam Sejahtera,

Yang terhormat :

- ✓ Bapak Gubernur Provinsi Riau
- ✓ Bapak-bapak Bupati dan Wali Kota yang hadir pada kesempatan ini
- ✓ Ketua, Sekretaris dan para Anggota Senat Universitas Riau
- ✓ Para Guru Besar Universitas Riau
- ✓ Bapak Rektor dan para Pembantu Rektor Universitas Riau
- ✓ Bapak Dekan dan Pembantu Dekan di Lingkungan Universitas Riau
- ✓ Bapak Pimpinan Lembaga/Pusat/Unit di Lingkungan Universitas Riau
- ✓ Bapak-bapak Dosen dan segenap Civitas Akademika Universitas Riau
- ✓ Para Tamu, Undangan, Ilmuwan, Sahabat dan Handaitaulan serta Keluarga yang Saya muliakan.

Pertama-tama marilah kita memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayahNya jualah kita pada hari ini semua dapat menghadiri Rapat Senat Terbuka Universitas Riau dalam rangka pengukuhan Saya sebagai Guru Besar (Professor) dalam bidang Manajemen Kualitas Air. Shalawat dan Salam, marilah kita kirimkan kepada Junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW beserta Keluarga dan para Sahabatnya. Alohumma shalli 'ala Muhammad, Wa 'ala ali Muhammad !

Hadirin yang Saya muliakan

Pada kesempatan yang berharga ini, perkenankan Saya menyampaikan Pidato Pengukuhan Saya sebagai Guru Besar di hadapan Sidang Senat Terbuka Universitas Riau dengan Judul :

**Teknik Pengelolaan Kualitas Air Budidaya Perikanan
Pada Era Industrialisasi.**

Tanpa air mustahil ada kehidupan, begitu pentingnya air. Untuk itu kualitas air perlu dipertahankan sesuai dengan peruntukannya, khususnya bagi kehidupan organisme budidaya perairan. Pengaruh berbagai faktor (fisika, kimia dan biologi) air sangat mudah terpengaruh, sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan komposisi air dari H_2O menjadi $H_2O + X$ (dimana X adalah jumlah pertambahan komposisi air akibat masuknya bahan-bahan asing dalam interval waktu tertentu). Dalam era industrialisasi saat ini, jumlah pertambahan komposisi air alami meningkat drastis akibat sungai, danau, pantai dan laut telah dijadikan sebagai tong pembuangan limbah industri yang ada di sekitarnya.

Istilah pengelolaan kualitas air secara luas merangkumi sifat fisika, kimia dan biologi air. Bagaimana pembudidaya ikan lebih cenderung kepada aspek kualitas air yang mengontrol kecocokan air dalam usaha budidaya perikanan. Banyak pembudidaya ikan yang gagal untuk mempertahankan kualitas air usahanya sehingga menyebabkan terjadinya pertumbuhan ikan

yang rendah bahkan terjadi kematian massal ikan. Pembudidaya ikan menginginkan teknik dan cara pengelolaan yang pasti terhadap kualitas air budidaya perikanan, terutama dalam era industrialisasi yang pesat perkembangannya.

Dulunya, pengelolaan kualitas air untuk kegiatan budidaya perikanan lebih menekankan kepada wadah atau tempat budidaya itu sendiri, baik itu berupa kolam, tambak, keramba, jaring apung, maupun wadah budidaya lainnya. Akan tetapi, setelah terjadinya pencemaran di berbagai kawasan, para peneliti cenderung mencari cara dan teknik untuk meningkatkan kualitas air tercemar.

Hadirin yang saya hormati,

Pengelolaan kualitas air dengan teknik pengapuran dapat memperbaiki kualitas air dan keseimbangan ekologi organisme, karena pengapuran dapat meningkatkan pH air dan tanah dasar kolam, meningkatkan alkalinitas air, meningkatkan kesadahan air dan tanah, meningkatkan kelarutan P dan C (CO_2), meningkatkan aktivitas mikroorganisme, meningkatkan kemampuan penyanggaan terhadap perubahan pH, kecerahan, meningkatkan produktifitas kolam (fitoplankton, zooplankton, organisme bentos, dan ikan yang dipelihara), serta menghilangkan kekeruhan air dan membasmi hama dan penyakit.

Teknik pemupukan pula telah dapat meningkatkan kesuburan kolam. Jika diinginkan hasil panen yang tinggi, kolam harus dipupuk. Fungsi dan peranan pemupukan kolam adalah untuk meningkatkan konsentrasi unsur hara, meningkatkan pertumbuhan fitoplankton, meningkatkan pakan alami (fitoplankton, zooplankton dan organisme bentos), dan meningkatkan produksi kolam ikan.

Teknik aerasi juga telah dapat meningkatkan kelarutan oksigen (DO) di dalam air tambak maupun kolam-kolam budidaya perairan. Kemudian juga dapat berfungsi untuk menimbulkan adanya sirkulasi air sehingga kehadiran gas-gas yang tidak diinginkan (H_2S , NH_3) dapat segera keluar dari permukaan air. Teknik ini juga dapat menyebarkan DO dan bahan-bahan lainnya di dalam perairan atau wadah budidaya perairan secara merata.

Menyadari ancaman dari pencemaran berbagai limbah industri, terutama telah menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air, perairan semakin tercemar, dan organisme semakin punah. Oleh karena itu, maka banyak penelitian-penelitian tentang teknologi penanggulangan polutan/toksikan buangan limbah industri yang masuk ke dalam perairan. Di antaranya adalah:

1. Teknik mengurangi konsentrasi polutan, pada awalnya teknik ini cukup baik untuk menurunkan konsentrasi polutan, tetapi penggunaan teknik ini untuk jangka waktu yang lama, perlakuan untuk mengurangi polutan tersebut dapat merusak lingkungan akibat waktu akumulasi polutan tidak sebanding dengan masa "*recovery* (perbaikan)" dari lingkungan itu sendiri.
2. Teknik penetralan polutan aktif menjadi senyawa yang kurang aktif. Kelemahan metode ini hasil pembuangan polutan non-aktif akan menjadi masalah dalam waktu tertentu karena

- pollutan dengan mudah dapat mengalami degradasi oleh lingkungan menjadi senyawa aktif yang dapat kembali mencemari lingkungan.
3. Teknik *Reverse osmosis* merupakan proses pemisahan pollutan oleh membran semipermeabel dengan menggunakan perbedaan tekanan luar dengan tekanan osmotik dari limbah. Metode ini cukup bagus akan tetapi kerugian sistem ini adalah biayanya cukup mahal sehingga sulit terjangkau oleh pemilik industri apalagi pembudidaya ikan di Indonesia.
 4. Teknik elektrodialisis merupakan teknik yang menggunakan membran ion selektif permeabel berdasarkan perbedaan potensial antara 2 elektroda. Kelemahan teknik ini dapat menimbulkan kerugian terutama terjadinya pembentukan senyawa logam-hidroksi yang menutupi membran.
 5. Teknik ultrafiltrasi merupakan metode yang dilakukan dengan cara penyaringan dengan tekanan tinggi melalui membran berpori. Kelemahan penggunaan teknik ini dapat menimbulkan banyak *sludge* (lumpur) yang dapat meningkatkan *particulate matter* di dalam perairan.
 6. Teknik resin penukar ion merupakan metode berprinsip pada gaya elektrostatis di mana ion yang terdapat pada resin ditukar oleh ion pollutan dari limbah. Kelemahan penggunaan cara ini juga akan mengalami kerugian terutama biayanya yang relatif tinggi dan sebagian masih menimbulkan ion yang *ter-remove*

Berdasarkan kelemahan-kelemahan tersebut di atas, belakangan ini para peneliti baik dalam maupun luar negeri sedang giat mencari metode alternatif yang lain. Salah satu teknologi yang pesat saat ini untuk menanggulangi pollutan/toksikan buangan limbah industri adalah teknik penggunaan organisme (Syafriadiman, 2008). Penggunaan mikroorganisme untuk mengabsorpsi pollutan disebut dengan teknik bioremediasi merupakan terkonsentrasi dan terakumulasinya bahan pollutan dalam suatu perairan oleh material biologi. Material biologi tersebut dapat *me-recovery* pollutan sehingga dapat dibuang secara ramah lingkungan. Sedangkan, kemampuan organisme (material biologi) untuk mengakumulasi pollutan melalui media metabolisme atau jalur psiko-kimia disebut dengan bioabsorpsi. Proses bioabsorpsi ini dapat terjadi karena adanya material biologi (disebut biosorben) dan adanya larutan pollutan (dengan afinitas yang tinggi) sehingga mudah terikat pada biosorben.

Alpha Environmental Inc. Texas, pernah menyemprotkan mikroba alami yang memakan pollutan minyak pada tumpahan sekitar 100.000 barrel, dan mikroba itu kemudian mati setelah memakan pollutan tumpahan minyak tersebut. Percobaan terhadap pemberian pupuk N/P kepada bakteri (sebagai biosorben) secara periodik di pantai mampu menghilangkan tumpahan minyak skala besar ketika terjadinya peristiwa *Exxon Valdez*. Di daerah lain, sampel bakteri yang dipupuk dibawa ke laboratorium, kemudian dikembangkan untuk meningkatkan biomassa. Pemanfaatan bakteri ini telah berhasil untuk memperbaiki kualitas air di sekitar tumpahan minyak tersebut.

Organisme makro maupun mikro terutama dari golongan alga dari divisi *Phaeophyta*, *Rhodophyta* dan *Chlorophyta* dan tanaman air seperti kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat mengabsorpsi berbagai jenis pollutan yang terdapat dalam limbah industri (Syafriadiman, 2008). Kangkung air merupakan salah satu jenis tumbuhan air yang dapat meremove berbagai bahan-bahan kimia melalui fotosintesis dan menyerap kelebihan zat-zat hara yang menyebabkan terjadinya pencemaran perairan (Soerjani,

1980). Mekanisme penyerapan sel-sel tumbuhan dapat dilakukan dengan cara penyerapan pasif (non metabolic absorption) yaitu ion akan masuk ke jaringan tumbuhan dari media (larutan) yang konsentrasinya rendah (Amri, 1999).

Kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dapat mengabsorpsi pollutan logam berat Cd dan sangat tergantung kepada waktu pendedahan dan berat kangkung air yang didedahkan. Berat kangkung air 90 gram mampu mengabsorpsi 71,43% pollutan Cd dari konsentrasi awal 0,21 mg Cd/l larutan uji. Setelah kangkung air menyerap Cd, kualitas air semakin meningkat, terutama suhu (25,5-28,5°C), pH (5,5-6,5), dan DO (4,5-6,0 mg/l), dimana nilai-nilai ini adalah cocok untuk budidaya perikanan. Bilamana pertumbuhan kangkung air semakin baik pada kesuburan tinggi melalui pemupukan tentu akan diperoleh penyerapan maksimum oleh kangkung air sebagai biosorben pollutan. Syafriadiman (2008) menyimpulkan bahwa semakin tinggi penyerapan kangkung air maka akan semakin meningkat kualitas air larutan uji yang mengandung pollutan Cd. Chlorophyceae (Algae) juga mampu mengabsorpsi berbagai toksikan limbah industri kelapa sawit (Syafriadiman, 2006), dan *Sargassum* dapat mengabsorpsi pollutan logam berat terutama Cd, Cu dan Uranium (U) (Voleski, 2005).

Hadirin yang saya muliakan,

Untuk itu, organisme dapat dimanfaatkan sebagai teknik pengelolaan kualitas air pada era industrialisasi yang berkembang saat ini, di samping teknik pengapuran, pemupukan dan aerasi. Teknik bioremediasi dengan bioabsorpsi organisme, terutama dari golongan alga dan tanaman air dapat meremove berbagai bahan-bahan kimia melalui fotosintesis dan menyerap kelebihan zat-zat hara yang menyebabkan terjadinya pencemaran perairan. Misran (2001) menyatakan bahwa teknik bioremediasi dengan resirkulasi air mampu meningkatkan kualitas air dan produksi tambak udang. Di samping itu, kelebihan penggunaan teknik bioremediasi berbanding dengan enam teknik tersebut di atas adalah teknik bioremediasi mempunyai biaya yang rendah, efisien, biosorbennya dapat diregenerasi, tidak perlu nutrisi tambahan, kemampuannya dalam *recovery* logam dan *sludge* yang dihasilkan ramah lingkungan.

Hadirin yang saya muliakan.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan pulalah saya untuk menyampaikan ucapan terima kasih saya kepada Rektor selaku Ketua Senat Universitas Riau (UR), beserta PR. I, II, III dan IV serta seluruh Anggota Senat UR, Ketua Senat Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan dan Pembantu Dekan I, II, III dan IV, seluruh Anggota Senat, Ketua Jurusan Budidaya Perairan, Rekan-rekan Dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, seluruh civitas akademika Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UR, terutama kepada Bapak Prof. Dr. Adnan Kasry dan Prof. Dr. Rasoel Hamidy, MS yang telah bertungkus lumus memeriksa kelayakan akademik Saya, serta staf kepegawaian bidang akademik Bapak Epi Herianto, yang mempersiapkan dan menyusun administrasi usulan Guru Besar Saya sehingga Saya dikukuhkan pada hari yang berbahagia ini.

Perkenankan pula saya menyampaikan rasa terima kasih kepada Prof. Dr. Alma Awaluddin dan Prof. Dr. Arbain H. Kadri (Alm) yang senantiasa membimbing Saya dan selalu memberi kesempatan kepada Saya untuk yang terbaik, terutama mengusulkan dan meng-upgrade Saya

dari Program S-2 (MSc.) ke S-3 (Ph.D) setelah 7 (tujuh) bulan saya mengikuti Program S-2. Ucapan terimakasih juga kepada seluruh rekan-rekan saya selama belajar di UKM Malaysia, terutama Dr. Htay Aung (Birma), Ir. Yurisman, MSc. dan yang lainnya. Berkat kebersamaan dengan mereka sehingga saya dapat menyelesaikan program S-3 dengan menyandang gelar Doktor Falsafah sebagai jembatan utama dalam menyandang jabatan fungsional guru besar seperti saya yang dikukuhkan pada hari ini.

Selanjutnya, kepada pembimbing saya ketika menyelesaikan sarjana (Ir.) dan Sarjana Muda (BSc.) Bapak Drs. Syafril Anwar, Ir. Yusniar Hamidy, MS., Ir. Ramli Taibin, SU., dan Ir. Ridwan Said (Alm), serta seluruh dosen-dosen yang mengasuh saya selama kuliah di Faperi (sekarang Faperika UR), berkat mereka semua saya dapat menyandang gelar sarjana (Ir.) dan sarjana muda (BSc.) perikanan.

Di tengah-tengah pengukuhan guru besar saya pada hari ini, perkenankan pula saya menghaturkan ucapan terimakasih kepada Bapak Drs. Samsuir Tasman dan Alamsyah, BA (mantan Kepala/wakil kepala SMA Negeri 1 Lubuk Sikaping), Ibu Raisah S. (mantan Kepala SMP Negeri 1 Lubuk Sikaping), Bapak M. Wali (Alm. mantan Kepala SD Negeri Kuamang), dan Bapak Bustamin Harahap (Guru Kelas VI SD Sei Pimping) serta guru-guru yang mendidik saya di SMA, SMP dan SD yang masih hidup maupun yang telah tiada, semoga Allah SWT mencatatkan pahala yang berlipat ganda atas didikan yang telah diberikan mereka kepada Saya sehingga saya menjadi seperti sekarang ini.

Pada hari keberuntungan ini, izinkan saya untuk menyampaikan dari lubuk hati yang kasih dan sayang, saya haturkan rasa cinta serta terima kasih yang tak terhingga kepada Istri tercinta Yumna, S.Pd dengan kesetiiaannya dan kesabarannya untuk mengharungi perjalanan hidup ini, baik dikala susah maupun dikala senang. Terutama ketabahan dan kesabarannya dalam mengurus Anak-anak dengan tulus dan ikhlas kiranya Allah SWT mengangkat derajatnya menjadi isteri yang solehah seiring dengan pengukuhan guru besar saya pada hari ini. Kepada seluruh anak-anakku yang tercinta (Veraminah Sandriosa Putri, Diana Sriwisada Putri, S.Pi, Hengki Firmanda. S., SH., Edi Yusuf Adiman, dan Raja Multi Konvokesyen Adiman) juga saya mengucapkan terima kasih, berkat kepatuhan dan kenakalan-kenakalan mereka berorngtua, namun semua keluh kesah dan gembira ria mereka merupakan obat dan penyemangat hidup bagi Saya dalam mengharungi kehidupan ini. Semoga anak-anakku semua menjadi generasi penerusku dan mereka dapat melebihi keberhasilan yang kuraih pada hari ini dan semoga Allah SWT memberikan kepada mereka kelak suatu kelebihan yang melebihi keberhasilan yang kuraih pada hari ini. Amin !

Pada kebahagiaan yang tak terucapkan saat ini, namun pandangan Saya juga tertuju kepada kedua Orang Tua saya yang telah tiada yaitu Almarhum Ayahanda Komis Siregar (Alias Mangaraja Iimbang) dan Ibunda Hj. Nurhasanah yang telah melahirkan, dan membesarkan serta mendidik Saya dengan penuh kasih sayang, Saya haturkan rasa hormat serta terima kasih yang tak terhingga, semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda, apalagi secara fisik mereka tidak dapat menyaksikan puncak pengukuhan saya pada hari ini. Begitu juga, kepada Bapak dan Ibu Mertua Ayahanda M. Saleh (Alm) dan Ibunda Siti Rahma (Alm) yang telah banyak mendidik istri saya dengan penuh kasih sayang dan keikhlasan mereka adalah

kerukunan dalam rumah tangga saya, dari hati yang tulus Saya haturkan rasa hormat, serta terima kasih yang tak terbilang, kiranya Allah SWT menempatkan mereka ditempat yang baik, sayangnya mereka tidak dapat menyaksikan puncak pengukuhan saya pada hari ini. Kemudian, perkenankan pula saya untuk menyampaikan terima kasih yang tak terhitung kepada orang tua angkat saya bapanda H. Razali dan ibunda Hj. Roslaini yang telah banyak membantu dan memotivasi saya untuk menuju jenjang kehidupan berumah tangga. Selanjutnya, kepada seluruh adik kandungku, abang/kakak ipar, baik yang belum atau yang sudah meninggalkan kita, semoga ketulusan mereka semua untuk memotivasi saya, saya mohon kepada Allah SWT untuk mencatat sebagai amal baik mereka seiring dengan pengukuhan puncak karir akademik saya pada hari ini.

Pada kesempatan ini juga Saya sampaikan ucapan terima kasih kepada Panitia yang telah bertungkus lumus menyiapkan acara pengukuhan pada hari ini, semoga apa yang telah diberikan menjadi amal dan hanya Allah SWT yang dapat membalas kebaikan Bapak-bapak dan Ibu-ibu.

Memang untuk memperoleh gelar guru besar bukanlah suatu hal yang mudah, tetapi banyak sekali rintangan dan cobaan yang harus dilalui. Tiga hari detik-detik saya diviva (ujian terbuka S-3) ayahanda tercinta (Almarhum) dipanggil oleh Allah SWT, sehingga saya tidak berjumpa dengan ayahanda tercinta, namun wajah ayahanda selama viva tetap terbayang, seminggu kemudian barulah saya pulang ke tempat orang tua, tetapi apalah daya ayahanda sudah tiada hanya tetesan air mata yang dapat dikeluarkan. Persis delapan bulan yang lalu ibunda tercinta pula dipanggil oleh Allah SWT, sehingga pada hari yang berbahagia ini beliau tidak dapat menyaksikan pengukuhan guru besar saya pada hari ini. Timbullah renungan di tengah malam saat menulis ucapan terimakasih ini, seperti syair di bawah ini :

Sebelum aku ada dimanakah aku,
Sesudah aku ada,
Seketika aku belum tahu siapa aku,
Setelah aku bisa bicara, aku pandai memanggil ayah dan ibu,
Setelah aku besar, aku disekolahkan oleh ayah dan ibuku,
Setelah aku pandai mencari hidup, aku diambil istriku,
Setelah aku mulai berkarir, ayah dan ibuku telah tiada,
Setelah aku Guru besar, bagaimana aku mengabdikan kepada mereka
Mudah-mudahan doaku merupakan doa anak yang shaleh ... Amin,,, !

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, saya akhiri pidato ilmiah ini. Wabillahi Taufiq Walhidayah. Assalamu 'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.