

ALTERNATIF TATA GUNA DANAU TELUK BERDASAR SIFAT LIMNOLOGIS

Dede Irving Hartoto, Seny Sunanisari, Muhammad Suhaemi Syawal,

Yustiawati, Iwan Ridwansyah dan Sulung Nomosatryo

Puslitbang Limnologi-LIPI

ABSTRAK

Pada saat bencana asap di tahun anggaran 1997-1998, telah dilakukan suatu penelitian limnologi di Danau Teluk, di Kotamadya Jambi, Propinsi Jambi. Penelitian ini adalah sebagai langganan Puslitbang Limnologi-LIPI dan Dinas Perikanan DT I Jambi atas terjadinya kematian masal ikan yang dipelihara di karamba apung di danau tersebut. Studi limnologi yang dilengkapi data yang dikumpulkan pada tahun-tahun sebelumnya bertujuan untuk mengetahui kualitas air Danau Teluk. Dari data dasar limnologi ini akan dikembangkan pendugaan daya dukung danau untuk kegiatan budidaya. Selanjutnya fakta yang ada juga dijadikan dasar untuk menyusun usulan alternatif tata guna Danau Teluk dari segi limnologis.

Sebagai dasar penalaran suatu studi telah dilakukan perunutan landasan teori untuk mendukung aneka tindakan operasional manajemen lingkungan.. Dari penelusuran pustaka tersebut antara lain diketahui bahwa untuk berlangsungnya proses biogeokimia yang wajar diperlukan konsentrasi oksigen terlarut > 4 mg/l. Pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan adalah pendekatan perunutan kematian ikan melalui necropsy, pendekatan pengkajian kualitas air dan pendekatan pendugaan sediaan oksigen sebagai dasar penghitungan daya dukung untuk kegiatan budidaya air serta pendekatan pengkajian alternatif proses pemulihan kualitas air.

Danau Teluk adalah sebuah danau banjiran (oxbow lake) yang polimiktik, luasnya 40,2 hektar, volume air 764.774,9 m³, kedalaman rata-rata 1,91 m, kedalaman maksimum 6,1 m, panjang garis pantai 3621,6 m dan shore line development index-nya 1,6. Terungkap pula bahwa danau ini tidak terstratifikasi suhu sedangkan bagian danau yang kedalamannya $> 1,5$ m, konsentrasi oksigen terlarutnya di kolom air lapisan dasar danau < 4 mg/l, sehingga menghasilkan penumpukan sisa-sisa proses metabolisme unsur-unsur C, N, P dan S yang bersifat racun bagi ikan. Danau ini teraduk setiap hari terutama saat penyinaran matahari tidak kuat. Zona I (bagian danau yang kandungan oksigen terlarutnya = DO > 4 mg/l) yang terletak di tepian danau yang umumnya dangkal mencapai 42,3 persen dari volume total danau sedangkan sisanya (zona II) oksigennya sangat rendah di lapisan bawah. Pengamatan variasi diurnal mengungkapkan bahkan kolom air sebelah atas bagian danau yang dalam, mencapai kandungan oksigen terlarut yang sangat rendah ($\cong 0$ mg/l) pada pukul 08.00. Parameter kualitas air yang lain juga menunjukkan bahwa di lapisan dasar telah terjadi akumulasi zat-zat beracun bagi ikan.

Pendugaan daya dukung perairan Danau Teluk menunjukkan jumlah ikan yang dapat ditampung berkisar antara 51.813.245 ekor (1 g/ekor) sampai 103.626 ekor (500 g/ekor) tergantung ukuran ikan atau setara dengan daya tampung 51,8 ton. Saat ini di Danau Teluk terdapat 864 unit sangkar terapung (tingkat penebaran 300-1000 ekor/sangkar), dengan suatu rencana sasaran produksi ikan antara 129,6-432,0 ton. Sasaran produksi selinggi ini melewati daya dukung danau. Pengkajian alternatif pemulihan daya dukung danau untuk budidaya ikan mengungkapkan potensi aerasi kolom "hipolimnion" melalui pemasangan Reaktor Injeksi Seri LIMNOTEK 3.1. Pemindahan lokasi, pengurangan jumlah sangkar dan lingkut penebaran merupakan beberapa alternatif untuk menghindari kematian ikan. Aneka pemanfaatan Danau Teluk masih dapat dipertahankan tetapi lata letaknya harus disesuaikan.

1. PERUMUSAN MASALAH

Danau Teluk adalah sebuah danau paparan banjir yang mendapat pasokan air dari Sungai Batang Hari. Danau yang luasnya lebih kurang 40,2 hektar ini terletak di daerah administrasi Kodya Jambi, Propinsi Jambi. Danau Teluk bersama-sama dengan Danau Sipin dan Danau Kenali sudah sejak dahulu kala mempunyai arti penting bagi sektor perikanan Propinsi Jambi, karena danau ini digunakan sebagai tapak asuhan ikan Botia (*Botia macracantha*) dan bilis (*Thinnichthys thinnoides*). Sejak dahulu kala, danau ini secara intensif digunakan pada setiap awal musim hujan sebagai tempat penangkapan anakan ikan botia dan bilis. Kedua jenis ikan ini ditangkap dengan menggunakan anco (giant dip net) di awal musim hujan. Selain sebagai tempat penangkapan ikan, saat ini Danau Teluk digunakan juga sebagai lokasi budidaya ikan dalam karamba, sarana penyedia air untuk kebutuhan domestik dan sarana navigasi. Selain itu danau ini juga merupakan lokasi Instalasi Unit Pembinaan Perikanan Perairan Umum (UPPU) milik Dinas Per-ikanan DT I Propinsi Jambi. Saat ini sangkar terapung yang dikembangkan di Danau Teluk jumlahnya sudah mencapai 864 unit. Di sisi lain setiap bentuk penggunaan suatu perairan untuk kegiatan budidaya perairan dapat menghasilkan limbah dalam jumlah dan jenis yang berbeda-beda, khususnya sisa-sisa proses mineralisasi unsur-unsur zat hara nitrogen dan fosfor yang berasal dari sisa pakan. Adanya penggunaan berganda perairan menyebabkan Danau Teluk mendapat tekanan yang berat pada daya dukungnya. Informasi terakhir yang diperoleh saat ini menunjukkan bahwa telah terjadi kematian masal ikan dalam karamba. Kejadian ini dapat merupakan salah satu pertanda bahwa daya dukung perairan tersebut sudah terlampaui. Sehubungan dengan hal-hal tersebut diatas, maka dilakukan studi dasar limnologis di Danau Teluk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air Danau Teluk. Dari data dasar limnologi Danau Teluk diharapkan dapat dikembangkan dugaan besarnya daya dukung danau ini sehingga dapat dirumuskan langkah-langkah nyata untuk mengatasi masalah kematian ikan yang terjadi di danau banjiran ini.

2. LANDASAN TEORI

Siklus karbon

Karbon adalah unsur terpenting semua makhluk hidup; karena ia merupakan unsur dasar pembentuk bahan organik. Unsur karbon di alam secara berkala dipindah-pindahkan dari satu komponen ekosistem ke komponen lainnya. Semua kelompok organisme yang ada di alam turut berperan dalam siklus karbon ini. Organisme tumbuhan yang mampu melangsungkan proses fotosintesis atau kemosintesis memproduksi bahan organik melalui proses reduksi karbondioksida (CO_2). Bahan organik hasil proses fotosintetik dan kemosintetik ini sebagian akan dimanfaatkan oleh hewan-hewan dan tumbuhan heterotrofik untuk membuat bahan organik yang lebih kompleks lagi susunannya, melalui jaring-jaring makanan (food web). Hewan-hewan dan tumbuhan heterotrofik pada gilirannya akan mati dan zat organiknya akan mengalami penguraian dan diubah kembali menjadi CO_2 . Inilah proses-proses biogeokimia yang menyusun siklus karbon (Gambar 1).

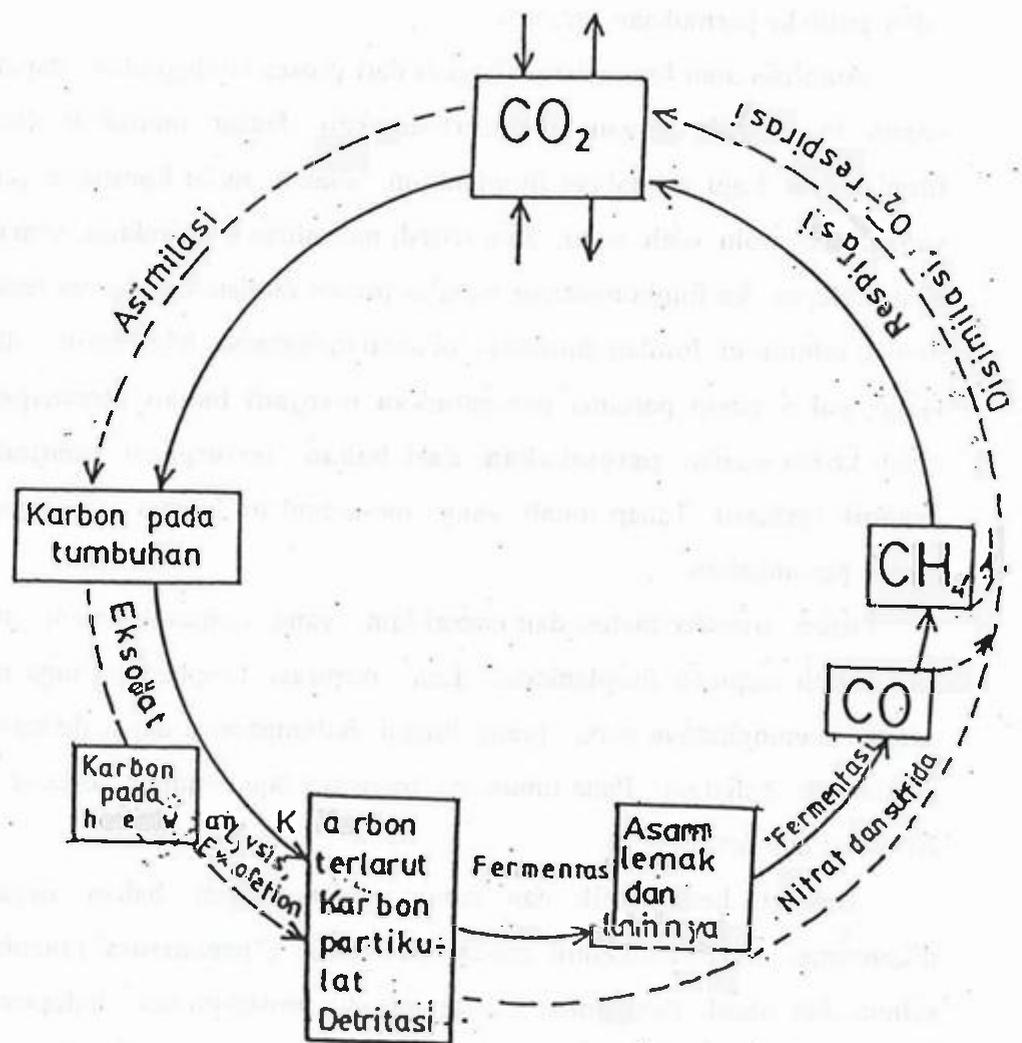
Jadi dalam siklus karbon, adanya CO_2 adalah pendahulu kehidupan di bumi dan selalu ada pada sebuah ekosistem perairan yang sempurna. Di perairan darat, mikroorganisme yang turut aktif dalam siklus karbon jauh lebih banyak daripada yang ada di lingkungan daratan (terrestrial). Di lingkungan perairan; produksi senyawa organik terutama dilakukan oleh alga sel tunggal, dan Cyanophyta yang termasuk dalam kelompok fitoplankton, sedangkan proses degradasi terutama diperankan oleh bakteri.

Di daratan bahan organik terutama diproduksi oleh tumbuhan tingkat tinggi sedangkan proses degradasi lebih banyak dilakukan oleh Actinomycetes, jamur, dan hewan tingkat rendah. Meskipun fitoplankton dan makrofit akuatik di wilayah iklim tropika dalam kurun waktu 24 jam menghadapi dan harus beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang sangat besar; tetapi bila dibandingkan dengan fitoplankton di perairan temperate; peran fitoplankton sebagai produsen di perairan danau tropika adakalanya sangat berarti terutama di beberapa tipe perairan danau. Di perairan tropika, fitoplankton akan didomi-nas

utama proses yakni asimilasi dan disimilasi. **Asimilasi** adalah proses pembentukan dan transformasi bahan organik menjadi sejumlah besar senyawa karbon alamiah lainnya. **Disimilasi** adalah penguraian secara ber-tingkat semua senyawa hasil asimilasi oleh proses respirasi hewan dan tumbuhan heterotrofik. Hewan dan tumbuhan melepaskan senyawa kimia tertentu ke perairan sekitarnya antara lain melalui proses ini. Bahan organik yang dikeluarkan ini dinamakan eksodat. Hewan yang mati juga mengalami lisis, yaitu pecahnya sel-sel, sehingga isi sel-sel keluar. Yang mula-mula terlepas adalah bahan organik terlarut. Pada umumnya, setelah kurun waktu 24 jam alga hijau yang mati dapat mencapai 33%. Organisme yang mati dapat diubah menjadi senyawa organik terlarut dan pada kondisi yang sesuai senyawa organik ini akan diubah lagi menjadi senyawa organik partikulat. Dinding-dinding sel relatif tahan terhadap proses degradasi mikrobial dan umumnya bersama-sama dengan bahan organik terlarut akan menjadi bagian dari detritus. Selain dipengaruhi oleh pH, serta adanya senyawa N dan P; siklus karbon juga sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen di perairan.

Proses penguraian atau dekomposisi bahan organik umumnya berjalan dengan laju 3 sampai 10 kali lebih cepat pada kondisi aerobik, dibandingkan pada kondisi anaerobik. Laju siklus karbon akan berjalan paling cepat bila tersedia oksigen terlarut dalam jumlah yang memadai. Bila oksigen tidak ada, pemecahan senyawa organik berjalan paling lambat. Selama masih ada oksigen yang terikat dalam bentuk nitrit; nitrat dan sulfat, pemecahan senyawa organik tetap dapat berlangsung melalui proses respirasi intra molekul; yang disebut **fermentasi**. Dalam proses penguraian ini sering kali terjadi penumpukan produk-produk antara, dan hanya sebagian dari bahan organik yang ada diuraikan menjadi CO_2 . Dengan cara inilah asam-asam organik sering kali terkumpul di sedimen dasar perairan danau. Salah satu petunjuk terjadinya gangguan pada siklus karbon di danau adalah adanya pe-ningkatan konsentrasi produk-produk antara tersebut di dasar perairan. Se-lanjutnya, bila kondisi memungkinkan, akan terjadi fermentasi metana. Pada proses fermentasi metana terbentuk sejumlah kecil metana dan bila oksigen tersedia lagi, produk-produk antara tersebut akan dioksidasi.

sejumlah senyawa yang stabil pada kondisi ini dan tak dapat diuraikan oleh mikroorganisme karena proses respirasi intra molekul tidak dapat terlaksana. Demikian pula senyawa-senyawa asam lemak dengan jumlah C >5; steroida; karotenoida; porfirin dan terpen tidak dapat difermentasi.



----- aerobik
 ————— anaerobik

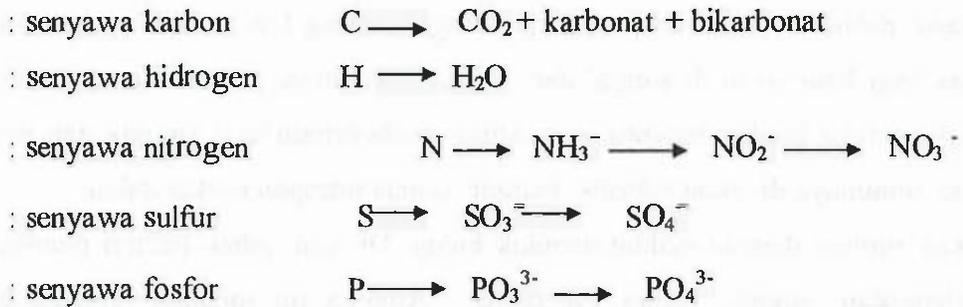
Pengetahuan manusia tentang siklus biogeokimia di danau, seperti misalnya, siklus karbon pada dasarnya lebih bersifat kualitatif dan sedikit sekali yang bersifat kuantitatif. Walaupun demikian, dapat dicatat bahwa di suatu danau eutrofik umumnya 80% hasil produktivitas primer didekomposisi pada kolom air 5 meter teratas danau, dan hanya 20% atau kurang, yang teng-gelam dan jatuh ke permukaan sedimen.

Autolisis atau lisis sebagai bagian dari proses biodegradasi dapat di-duga secara kuantitatif dengan memperhitungkan faktor mortalitas (ke-matian) fitoplankton. Laju mortalitas fitoplankton adalah suatu konstanta yang tetap; yang dipengaruhi oleh suhu. Bila terjadi mortalitas fitoplankton, semua nutrien akan terlepas ke lingkungannya melalui proses otolisis dan hanya tersisa suatu jumlah minimum. Jumlah minimum ini akan didegradasi lebih lanjut dalam dua tahap; yakni tahap pertama **perombakan menjadi bahan tersuspensi** dan tahap kedua adalah **perombakan dari bahan tersuspensi menjadi bahan organik terlarut**. Tahap inilah yang me-mentukan lambat atau cepatnya laju proses perombakan.

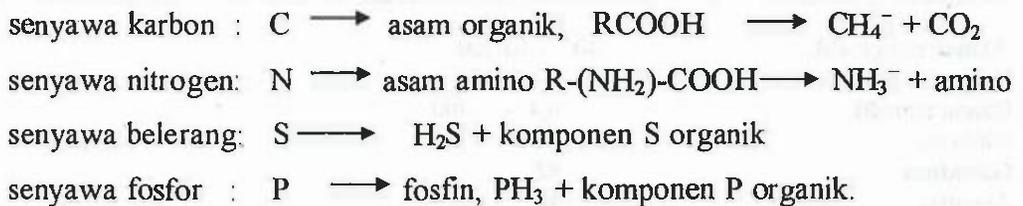
Proses transfer materi dan energi lain, yang termasuk dalam siklus karbon adalah respirasi fitoplankton. Laju respirasi fitoplankton juga meningkat dengan meningkatnya suhu (yang fungsi hubungannya dapat dihitung dengan Persamaan 2 diatas). Pada umumnya besarnya laju respirasi berkisar antara 5-20% dari laju fotosintesis.

Bakteri heterotrofik dan jamur memanfaatkan bahan organik yang dikonsumsi untuk membentuk zat-zat pendahulu ("**precursors**") pembuatan sel-selnya dan untuk mengambil energi untuk proses-proses hidupnya. Bahan-bahan organik ini dikonversi oleh mikroorganisme menjadi senyawa-senyawa dengan kandungan energi yang lebih kecil. Senyawa dengan kan-dungan energi yang lebih kecil ini pada akhirnya; bila kondisi memungkinkan; akan diubah menjadi bahan mineral aslinya. Fungsi utama bakteri dan jamur adalah pelaku utama dalam proses remineralisasi bahan organik. Nutrien pembatas umumnya akan dikembalikan lagi pada waktunya ke dalam siklus materi sehingga nutrien

kurang banyak, proses mineralisasi tidak berjalan sempurna. Pada proses mineralisasi yang sempurna (cukup oksigen) senyawa-senyawa organik tersebut akan diuraikan menjadi:



Cukup sering oksigen di perairan tidak tersedia dalam jumlah yang memadai, karena misalnya perairan tersebut tercemar bahan organik. Pencemaran oleh senyawa organik menyebabkan kebutuhan oksigen untuk proses penguraian lebih cepat dan lebih banyak dari pada masukan oksigen ke dalam perairan; sehingga proses penguraian bahan organik akan berjalan dengan tidak sempurna dan pada kondisi anaerobik. Dalam keadaan ini proses penguraian berjalan seperti yang tercantum dibawah ini :



Senyawa-senyawa yang mudah terurai seperti protein, gula dan sejenisnya umumnya terdekomposisi secara endooksidasi, tetapi zat-zat yang lebih tahan terhadap penguraian seperti misalnya lemak, selulosa dan lignin akan terakumulasi. Akumulasi lemak, selulosa dan lignin bersama-sama dengan produk-produk hasil penguraian lainnya inilah yang dinamakan humus. Laju dekomposisi bahan-bahan organik di perairan sangat beragam, tergantung pada kandungan serta kondisi lingkungannya. Lama-nya proses penguraian sejumlah tertentu bahan organik terlarut pada suhu di tempat beradanya (in situ) oleh bakteri heterotrofik dikenal sebagai "waktu pembalikan", atau "turn over time". Pada Tabel 1 disajikan data turn over time beberapa

Siklus Nitrogen

Nitrogen adalah bahan dasar pembuat protein dan diambil oleh tumbuhan dalam bentuk amonia atau nitrat. Jumlah amonia dan nitrat yang terlarut dalam air umumnya sedikit, sehingga sering kali menjadi faktor pembatas bagi kehidupan di sungai dan danau. Akibatnya, produksi senyawa organik sampai tingkat tertentu tergantung pada konsentrasi amonia dan nitrat. Pada umumnya di zona eutrofik hampir semua nitrogen terikat dalam ikatan protein dengan mahluk-mahluk hidup. Di lain pihak bakteri pembusuk melepaskan amonia secara menerus. Amonia ini menjadi tersedia bagi tumbuhan sebagai sumber nitrogen, baik melalui proses oksidasi mikrobial menjadi nitrat atau dimanfaatkan secara langsung. Sejumlah mikroorganisme mampu mengikat nitrogen bebas untuk digunakan oleh organisme hidup di lingkungan perairan.

Tabel 1. Data waktu pembalikan (turn over time) beberapa tipe danau dan senyawa organik di perairan darat

Tipe Ekosistem	Waktu pembalikan (jam)
Danau oligotrofik	40 - 10.000
Danau mesotrofik	80 - 470
Danau eutrofik	0,4 - 300
Glukosa	32
Galaktosa	82
Aspartat	48
Glutamat	22
Glisin	16
Alanin	23
Lisin	96
Protein hidrolisat	40

Modifikasi dari Rheinheimer (1985), hal 154

Kelompok mikroba lainnya; dengan jalan mereduksi ni-trat akan menghasilkan nitrogen yang berbentuk gas; yang akan terlepas ke-luar dari perairan. Seperti halnya unsur-unsur pendukung kehidupan yang la-in, nitrogen juga ditransfer dari satu komponen ke komponen lainnya dalam ekosistem, dan membentuk suatu siklus yang disebut siklus nitrogen (Gambar 2). Pada diagram ini, jumlah nitrogen dalam alga dinyatakan sebagai NA. Proses no 10 adalah proses

mati akan dilambangkan sebagai pro-ses no 8 yaitu proses mortalitas. Tahap awal semua proses perombakan bahan organik yang ada pada mahluk hidup adalah proses menjadi detritus (particulate organic matter). Proses ini akan dilanjutkan dengan proses pe-rombakan menjadi nitrogen anorganik dan senyawa anorganik lainnya. Proses ini dikenal dengan nama proses mineralisasi (no 9). Dalam proses mi-neralisasi ini, selain menggambarkan adanya mineralisasi nitrogen organik menjadi nitrogen anorganik, juga mencakup proses mineralisasi fosfor serta karbon organik menjadi fosfor dan karbon anorganik. Proses mineralisasi nitrogen mempunyai laju konstanta yang lebih kecil, dan perbandingan C : N -nya menurun selama proses dekomposisi bahan organik. Proses dekom-posisi protein (proteolisa) ini umumnya dilaksanakan oleh bakteri atau fungi dengan suhu optimum reaksi enzimatisnya antara 30 - 35 °C. Jumlah bakteri proteolitik di perairan darat yang kaya bahan organik berprotein umumnya banyak dan mereka dapat berkembang biak dengan pesat. Proses nomor 11 adalah proses penganapan (settling) detritus, sedangkan proses-proses lain-nya menggambarkan proses grazing ("perumputan") fitoplankton oleh zoo-plankton (no 4), proses filtrasi plankton oleh hewan-hewan (ikan) "filter fee-der" (no 6) dan, proses mortalitas fitoplankton serta zooplankton (no 5 dan no 7). Perbandingan biomassa fitoplankton yang menjadi bagian dari detritus dengan biomassa yang dimakan oleh zooplankton adalah 1 : 3. Proses no 8 adalah proses ekskresi langsung amonia oleh zooplankton. Selain zooplankton, ikan dan hewan-hewan air lainnya juga melepaskan amonia, meskipun dari segi aliran masa tidak sepenting pelepasan amonia oleh zooplankton. Amonia; baik yang berasal dari ekskresi mahluk hidup oto-trofik dan heterotrofik; atau yang berasal dari hasil pemecahan bahan orga-nik adalah sumber energi untuk bakteri pembentuk nitrit. Dengan ada-nya oksigen (minimum 0,4 ppm), bakteri pembentuk nitrit mampu mengubah amonia menjadi nitrit. Proses ini disebut proses nitritasi. Bakteri-bakteri yang bekerja merubah amonia menjadi nitrit antara lain adalah jenis anggota marga *Nitrosomonas*. Reaksi nitritasi biasa dinyatakan sebagai :



Reaksi nitritasi memerlukan adanya ion Mg^{2+} , asam asetat, asam malat, asam sitrat, dan etanol. Apabila oksigen tersedia lebih banyak lagi proses tersebut akan dilanjutkan dengan reaksi pembentukan nitrat atau **nitratasi**. Reaksi nitratasi berjalan optimum pada konsentrasi oksigen 4 mg/l tetapi masih dapat berlangsung pada konsentrasi oksigen terlarut sekitar 0,3 mg/l. Reaksi tersebut biasanya dinyatakan dalam persamaan:



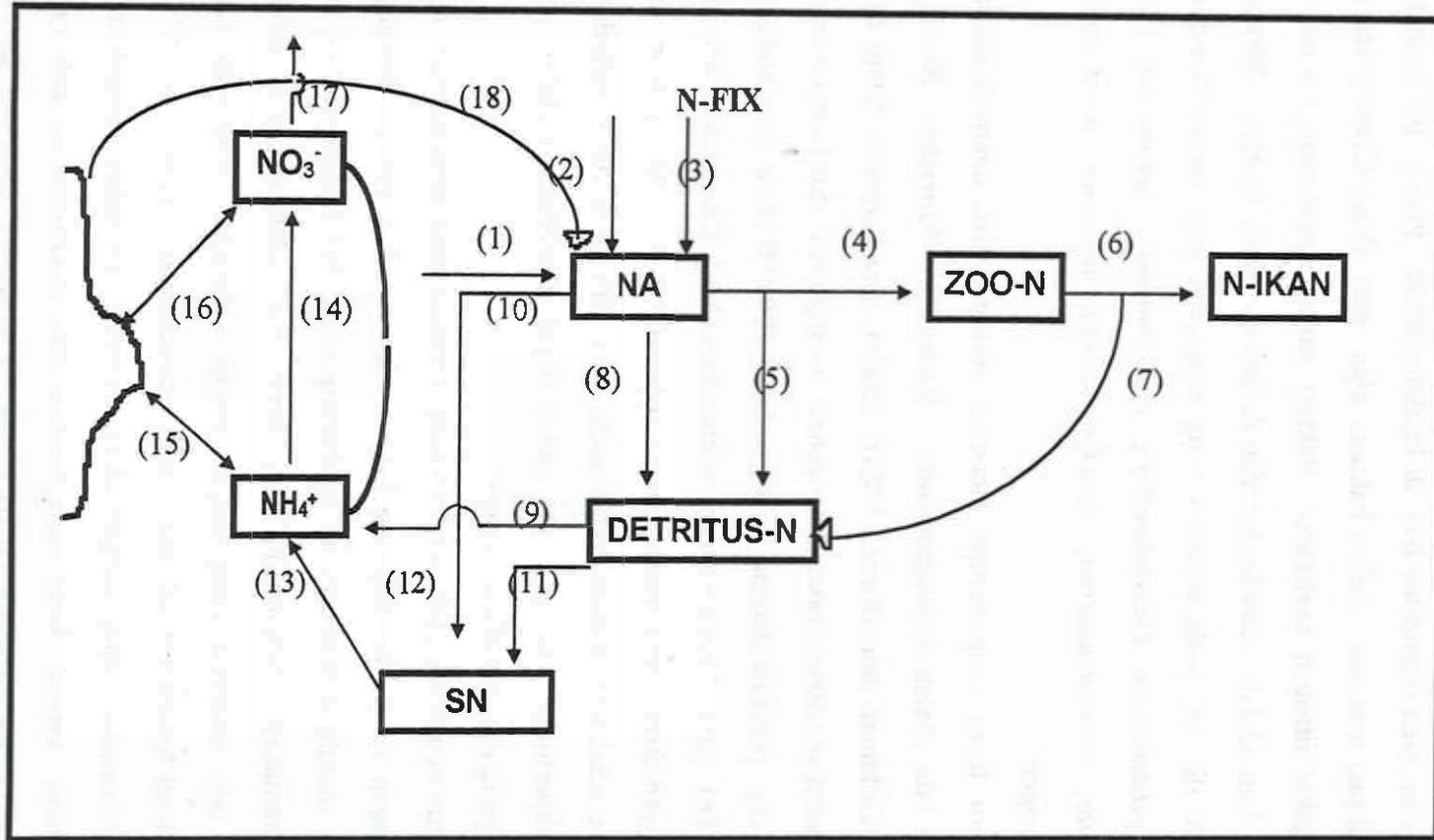
Bakteri nitratasi umumnya anggota dari marga *Nitrobacter*. *Nitrobacter* adalah bakteri yang tidak terlalu toleran terhadap suhu rendah dan pH tinggi. Gabungan proses nitritasi dan nitratasi dinamakan proses **nitritifikasi**. Informasi yang ada (Hartoto, 1989), memberi petunjuk bahwa di sedimen suatu danau mesotrofik di wilayah iklim tropika kepulauan, bakteri-bakteri amonifikasi jumlahnya dapat berkisar antara $19 - 140 \times 10^6$ sel/g sedimen basah dan waktu yang diperlukan oleh kelompok bakteri ini untuk mengubah senyawa protein menjadi amonia adalah antara 2-5 hari. Di lain pihak lama proses nitritasi dapat mencapai 17-27 hari sedangkan proses nitratasi lebih lama lagi. Bakteri denitrifikasi di sedimen jumlahnya berkisar antara $0,97-45,0 \times 10^6$ bakteri /g sedimen basah.

Pada umumnya jumlah bakteri amonifikasi, nitritasi, nitratasi dan denitrifikasi di air jauh lebih sedikit dari pada jumlah bakteri serupa yang ada pada sedimen. Kemampuan bakteri amonifikasi, nitritasi, dan nitratasi yang ada di sekitar sedimen dalam menjalankan fungsinya juga lebih cepat karena jumlahnya yang lebih banyak. Bakteri-bakteri tersebut hanya berada pada lapisan 2-3 cm lapisan permukaan sedimen dasar perairan. Lingkungan perairan sebagai media hidup bakteri-bakteri di sedimen ini lebih banyak dipengaruhi oleh sifat umum air di hipolimnion. Jumlah bakteri nitritasi dan nitratasi di sedimen; umumnya jauh lebih banyak dari pada yang di air (± 500 kali dan ± 250 kali). Perbandingan jumlah bakteri nitritasi dengan bakteri nitratasi di air adalah 13 : 1 sedangkan di sedimen 28 : 1. Lebih sedikitnya jumlah bakteri nitratasi baik di sedimen atau di air ada-lah karena bakteri ini

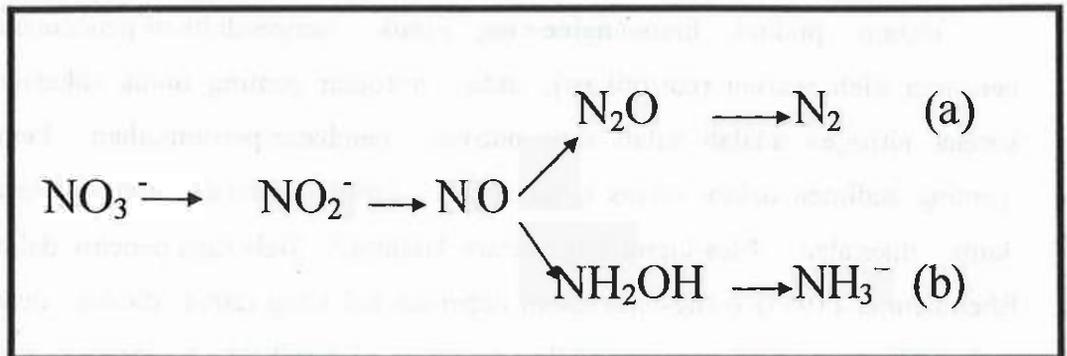
Sejumlah mikroba mampu mengikat nitrogen bebas dari udara sehingga dapat digunakan oleh organisme lain di lingkungannya. Proses pengikatan ini dinamakan fiksasi nitrogen. Selain bakteri, alga dari filum Cyanophyta juga mampu mengikat nitrogen molekuler. Bakteri yang mampu mengikat nitrogen bebas antara lain adalah *Azotobacter* dan *Azomonas* yang hanya ditemukan di air. Selain di air, pada sedimen yang anaerobik juga sering ditemukan *Clostridium pasterianum*, *Desulphovibrio*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, dan *Corynebacterium* yang juga mampu mengikat nitrogen.

Alga biru hijau yang mampu mengikat nitrogen dan umum dijumpai di danau antara lain adalah *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Gleotrichia*, *Nodularia*, dan *Nostoc* (Goldman dan Horne, 1983). Enzim yang berperan dalam fiksasi nitrogen dinamakan **nitrogenase**. Nitrogenase mempunyai dua komponen yaitu komponen yang pertama dengan bobot molekul 300.000 serta mengandung 20 bagian besi (Fe) serta 1 bagian unsur molibdenum (Mo). Komponen yang kedua hanya mengandung besi dengan bobot molekul 35.000. Nitrogenase hanya berfungsi bila tidak ada oksigen, tetapi pada alga biru-hijau untuk menjalankan fiksasi ini diperlukan energi yang hanya dapat diproduksi melalui proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen.

Meskipun demikian, pada perairan yang teroksigenasi dengan baik, proses fiksasi nitrogen tetap berlangsung karena alga tersebut mampu beradaptasi dengan jalan membuat sejumlah sel berdinding tebal. Sel dengan dinding yang tebal ini dinamakan "heterokista" atau heterocyst. Dinding yang tebal ini mempunyai laju respirasi yang sangat tinggi sehingga menyerap banyak oksigen. Sel-sel heterocyst ini juga tidak mempunyai "fotosistem II" yaitu perangkat fotosintesis yang menghasilkan oksigen. Di dalam heterokista ini terbentuk ruang sangat kecil yang anoksik atau mikrozona anoksik (anox microzone) sehingga nitrogenase dapat berfungsi meskipun sel-sel di sekitarnya dan mediumnya kaya dengan oksigen. Pembentukan heterocyst diinduksi oleh terbatasnya nitrogen intra seluler yang biasa terjadi bila perbandingan C melebihi 8 : 1.



Gambar 2. Diagram model siklus nitrogen di dalam danau (Sumber: Jorgensen, 1980)



Gambar 3. Dua jalur respirasi nitrat a. denitrifikasi, b. amonifikasi nitrat

Nitrogenase dibuat oleh semua sel, tetapi paling aktif pada sel heterocyst. Alga biru-hijau cenderung lebih berperan dalam fiksasi nitrogen dari pada bakteri. Pada lingkungan anaerobik; bila ada donor hidrogen organik; nitrat dapat direduksi menjadi nitrit; oksida-oksida nitrogen (NO dan N₂O) atau nitrogen molekuler. Proses ini dikenal dengan nama proses **denitrifikasi** dan umumnya dilaksanakan oleh bak-teri-bakteri anaerobik fakultatif. Bakteri-bakteri ini menggunakan nitrat atau nitrit sebagai akseptor hidrogen melalui proses respirasi anaerobik. Proses respirasi ini disebut juga dengan nama **respirasi nitrat**. Respirasi nitrat ini adalah semacam cara respirasi darurat, yang bekerja hanya bila oksigen terlarut jumlahnya sedikit, karena enzim respirasi nitrat; yang dinamakan *nitrate reductase* atau enzim pereduksi nitrat; hanya dibuat pada kondisi anaerobik. Bila suatu danau yang tak tercemar mempunyai laju denitrifikasi yang tinggi; umumnya kandungan nitritnya cukup tinggi. Meskipun demikian, bakteri denitrifikasi dapat dijumpai di semua perairan tawar karena sifat fakultatif anaerobiknya.

Umumnya proses denitrifikasi baru terpacu bila tingkat kejenuhan oksigen kurang dari 50%. Pada perairan-perairan yang tergenang; dapat terjadi suatu proses yang dinamakan amonifikasi nitrat atau "nitrate amonification". Dalam proses ini nitrat direduksi menjadi amonia melalui nitrit (Lihat Gambar 3). Di antara sedikit bakteri yang mampu menjalankan proses amonifikasi nitrat adalah *Escherichia coli* dan *Bacillus*. Bila kita menjumpai konsentrasi amonia yang sangat tinggi di se-dimen atau kolom air hipolimnion, kemungkinan

... dari proses amonifikasi nitrat dan bukan dari proses

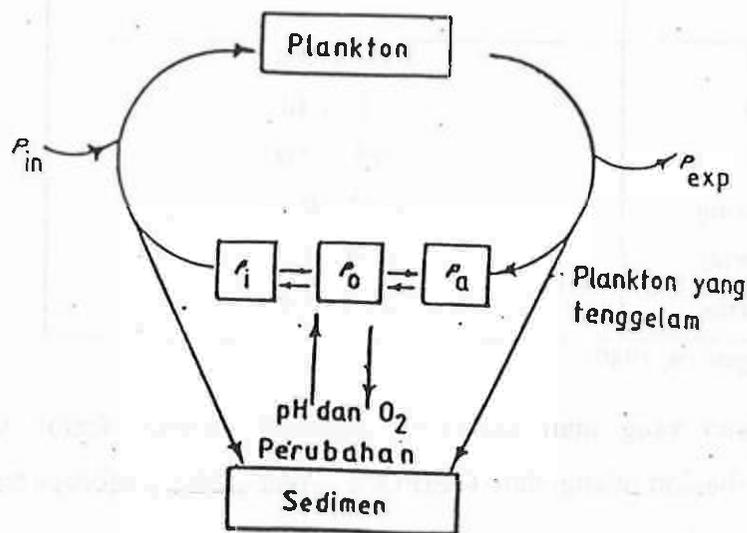
Dalam praktek limnoengineering untuk mengendalikan pencemaran per-airan oleh nutrien (eutrofikasi), siklus nitrogen penting untuk diketahui karena nitrogen adalah salah satu nutrien pembatas pertumbuhan. Peran penting sedimen dalam siklus biogeokimia sebagai pemasok nutrien telah lama diketahui. Meskipun baru secara kualitatif. Beberapa peneliti dalam Rheinheimer (1985) mengungkapkan beberapa hal yang dapat dicatat disini yakni laju produksi dan pengambilan amonium oleh mikroba tergantung pada perubahan perbandingan nitrogen dengan karbon pada permukaan sedimen. Aliran nitrat dari sedimen ke air berhubungan dengan laju proses nitrifikasi dan musim. Laju proses transfer zat organik menjadi nitrogen anorganik dan nitrogen molekuler ini, dapat mencapai 44 - 66 persen dari laju mineralisasi nitrogen yang terikat secara organik. Amonium dan nitrat yang terbentuk dalam proses ini ternyata dapat memenuhi 30-82 persen kebutuhan fitoplankton akan nitrogen.

Siklus fosfor

Seperti halnya senyawa nitrogen anorganik, fosfat adalah salah satu faktor pembatas kehidupan tanaman di perairan. Fosfor sebagai salah satu bahan dasar asam nukleat adalah unsur paling vital bagi semua organisme. Fosfor ditemukan dalam senyawa-senyawa biologis seperti fosfolipid, gula terfosforilasi, bagian-bagian pembentuk tulang, ATP dan sebagainya. Sejumlah bakteri mampu menyimpan asam fosfat dalam bentuk polifosfat pada butiran-butiran volutin. Bila terjadi kekurangan fosfor di air, laju dekomposisi bahan organik oleh bakteri dan jamur juga dapat terganggu, karena bakteri perombak tersebut memerlukan sejumlah tertentu fosfor untuk memperbanyak sel dan menjalankan fungsi ekologisnya. Laju pembalikan fosfat umumnya singkat.

Proses-proses dalam siklus fosfor hampir serupa dengan proses-proses pada siklus karbon dan nitrogen (Lihat Gambar 4). Banyak bakteri dan jamur yang mampu memecah senyawa fosfor organik dan melepaskan fosfat serta mengembalikannya ke dalam siklus.

siklus nitrogen dan karbon; siklus fosfor tidak memiliki “gudang atmosferik” atau adanya



Gambar 4. Distribusi dan proses perputaran fosfor di danau tropika.

P_{in} adalah fosfor anorganik yang diimpor ke dalam danau;

P_i : fosfor anorganik terlarut; P_o : fosfor yang terikat pada de-tritusorganik; P_a : fosfor yang teradsorpsi ke permukaan partikel tersuspensi dan P_{exp} : fosfor yang diekspor ke

luar danau (Sumber: Payne, 1986.)

proses seperti misalnya fiksasi nitrogen. Ini berarti lebih mudah mengendalikan masukan fosfor ke danau dari pada masukan unsur terpenting lainnya. Mekanisme pertukaran fosfor antara kolom air dan sedimen danau sangat ditentukan oleh ketersediaan oksigen. Pada kondisi aerobik (> 2 ppm), fosfor diendapkan karena terikat dengan besi dalam bentuk feri fosfat dan

endapannya. Bila oksigen habis, misalnya di hi polimnion danau eutrofik, besi direduksi menjadi bentuk besi (II) yang larut dalam air sehingga konsentrasi fosfat di air juga meningkat secara nyata.

Tabel 2. Perbandingan stoikiometri unsur-unsur pada fitoplankton

Perbandingan	Nilai
C/klorofil	40 - 100
N/klorofil	7 - 10
P/klorofil	0,5 - 3,0
C/bahan kering	0,33 - 0,65
N/bahan kering	0,44 - 0,10
P/bahan kering	0,40 - 2,50

Sumber : Jorgensen, 1980.

Hewan-hewan yang mati memasok sejumlah padatan fosfor yang berasal dari bagian-bagian tulang dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Agar siklus fosfornya berjalan, harus ada

sejumlah bakteri yang mampu melarutkan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Larutnya kalsium fosfat terbantu dengan adanya senyawa-senyawa amonium, dan bakteri-bakteri yang mampu menjalankan proses ini antara lain adalah *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Escherichia*, *Bacillus* dan *Micrococcus*. Organisme tumbuhan mengambil fosfat dalam bentuk pirofosfat, kemudian merubahnya menjadi senyawa fosfor organik dan umumnya fosfor dilepaskan dari ikatan organiknya oleh aktivitas mikroor-ganisme.

Konsentrasi fosfor intraseluler seringkali relatif lebih tinggi dari konsentrasi nutrien lainnya. Ini berarti perbandingan fosfor terhadap biomassa jauh lebih ber-variasi dari pada perbandingan karbon atau nitrogen terhadap biomassa. (Lihat Tabel 2). Hal ini disebabkan karena beberapa plankton dan tumbuhan akuatik mampu melaksanakan proses yang dikenal dengan nama **luxurious uptake**, terhadap fos-for. Dalam fenomena ini, pada saat di lingkungannya terdapat fosfor dalam kon-sentrasi yang tinggi; produsen primer akan mengambil fosfor jauh lebih banyak dari jumlah yang

Makrofit akuatik yang ada di zona litoral suatu danau dapat mengambil fosfor dari sedimen. Meskipun laju pelepasan fosfor dari makrofit akuatik relatif lebih rendah dari laju pelepasan fosfor dari fitoplankton, tetapi tetap saja ada sejumlah fosfor yang dilepaskan dari daerah litoral ke daerah pelagik melalui peluruhan tumbuhan yang mati. Pada danau-danau oligotrofik; adanya tumbuhan air dalam jumlah yang wajar di zona litoral berperan penting sebagai semacam pemompa nutrisi dari dasar perairan ke zona pelagik, sehingga nutrisi tersebut dapat digunakan oleh organisme tumbuhan lainnya. Kemampuan makrofit akuatik menyerap fosfor dan nutrisi atau zat-zat lain ini sangat penting dari segi limnology karena dapat digunakan sebagai zona penyangga untuk meredam dampak pencemaran dari sumber-sumber yang tersebar (non point source of pollutants).

Berbeda dengan perairan di daerah temperate, di perairan tropika, fosfor tidak sering menjadi faktor pembatas pertumbuhan. Nitrogen dalam bentuk amonia lebih sering teramati sebagai faktor pembatas pertumbuhan, karena umumnya nitrogen dalam bentuk amonium yang paling banyak dimanfaatkan oleh biota tumbuhan perairan. Ciri khas siklus biogeokimia di perairan tropika antara lain adalah; konsentrasi nitrogen dan fosfor anorganik umumnya sangat sedikit, meskipun danau atau sungai tersebut sangat produktif. Seringkali kita menemukan adanya biomassa fitoplankton yang besar tetapi nitrat tidak terdeteksi, dan amonia dijumpai hanya di malam hari pada konsentrasi yang rendah yakni sekitar 40-70 $\mu\text{g N/l}$ (Payne, 1986).

Siklus belerang

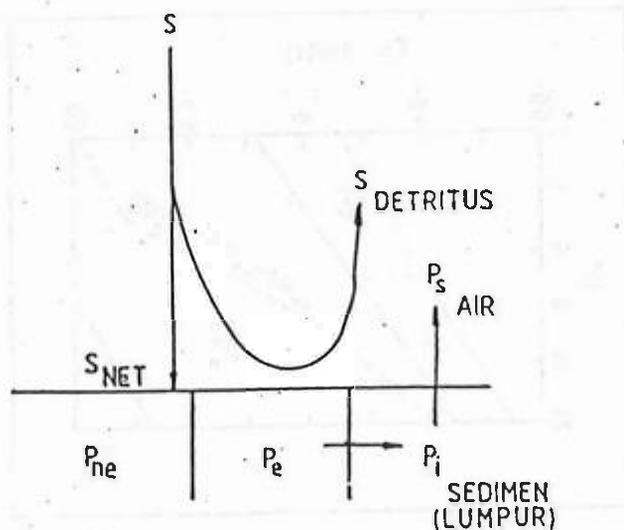
Senyawa belerang yang dominan di danau adalah sulfat, dan hampir semua belerang diasimilasikan oleh makhluk hidup (terutama mikroba) dalam bentuk ini. Sulfat setelah direduksi menjadi gugus sulfidril (-SH) akan digunakan dalam sintesa protein. Sebaliknya, pada proses peluruhan zat organik yang proteinnya mengandung gugus-S, seperti misalnya sistein dan metionin, hidrogen sulfida (H_2S) bersama-sama amonia juga dilepaskan dalam jumlah sedikit. Hidrogen sulfida ini pada kondisi aerobik dioksidasi dengan cepat

Pada kasus yang lain bakteri pereduksi belerang dapat menggunakan oksigen yang terikat pada senyawa sulfat untuk mengoksidasi bahan organik. Reaksi biokimiawi yang dijalankan oleh mikroba ini berlangsung pada keadaan anaerobik dan proses reaksinya dapat digambarkan sebagai berikut:



Proses oksidasi oleh bakteri kemoototrofik mampu mengubah hidrogen sulfida, sulfur, tiosulfat dan sulfit untuk mendapatkan energi yang diperlukan untuk mereduksi karbon dioksida. Diantara mikroba-mikroba tersebut, marga-marga bakteri *Beggiatoa*, *Thiothrix* dan *Thiobacillus* adalah pengoksidasi belerang terpenting di perairan karena distribusinya luas dan dapat dijumpai di danau, sungai dan di perairan pantai. Bakteri anggota marga-marga ini adalah bakteri aerobik, dan jumlahnya dapat saja menonjol bila H_2S cukup banyak di perairan tersebut. Selain jenis-jenis yang fakultatif anaerobik, terdapat jenis lain seperti misalnya *Thiobacillus denitrificans* yang dapat menjalankan respirasi nitrat. Fungsi terpenting jenis ini adalah kemampuannya untuk mengoksidasi senyawa-senyawa belerang di lingkungan anaerobik zona afotik selama nitrat masih ada. Karena H_2S dioksidasi dengan cepat secara kimiawi bila ada oksigen, maka H_2S hanya akan terakumulasi pada lingkungan anaerobik. Pada danau-danau eutrofik biasanya terdapat interface (batas antara) yang jelas antara kolom air yang banyak mengandung H_2S dan kolom air yang banyak oksigen terlarutnya. Bila interface ini terletak di zona afotik, maka interface inilah tempat hidup bakteri-bakteri *thiobacillus* aerobik. Di lain pihak bila interface tersebut terletak di zona eufotik, maka yang berkembang baik adalah khlorobakteria dan bakteri belerang yang ungu (purple bacteria) dan bukannya *thiobacillus*.

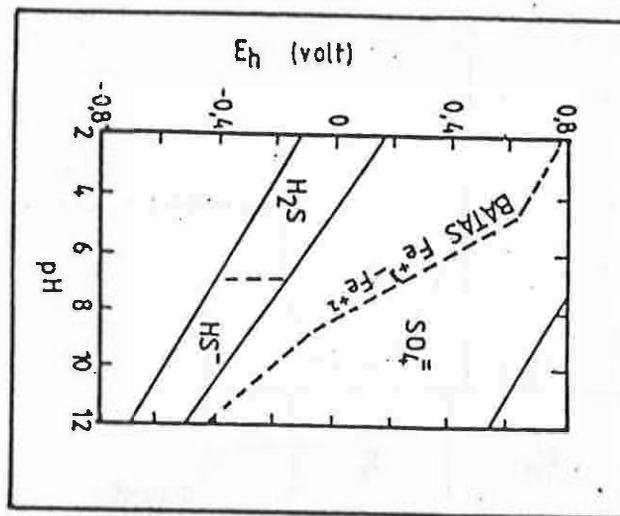
Thiobacillus hampir selalu dijumpai di sungai, meskipun tidak selalu banyak jumlahnya. *Thiobacillus thiooxydans*, sebagai salah satu bakteri alamiah yang mampu mengoksidasi senyawa belerang menjadi sulfat, umumnya agak kurang aktif



Gambar 5. Siklus belerang di danau (Sumber: Jorgensen, 1980)

pada pH sedikit basa (7,5) dan sangat aktif pada pH <5, bahkan pada konsentrasi mendekati pH = 1. Satu hal yang patut dicatat antara lain adalah, meskipun tiobasilus dapat dijumpai dimana saja, tetapi bakteri-bakteri ini hanya berkembang pesat bila ada H₂S.

Pada permukaan sedimen yang mengandung H₂S, jenis-jenis *Beggi* dan *Thiothrix* dapat tumbuh dan membentuk koloni mirip sarang laba-laba yang berwarna putih. Oksidasi hidrogen sulfida dapat terjadi dengan intensif sampai ke lapisan sedimen yang cukup dalam karena adanya aktivitas bakteri pengoksidasi belerang yang kemoototrofik ini. Dekomposisi protein melepaskan sedikit H₂S pada hampir semua air permukaan. Bagian terbesar dihasilkan melalui proses reduksi sulfat pada lingkungan anaerobik. Katalisator proses reduksi sulfat adalah tidak adanya oksigen dan tersedia alkohol atau bahan organik lain sebagai donor hidrogen, dengan pada akhirnya berupa asam asetat. Selama



Gambar 6. Diagram perbandingan berbagai macam bentuk belerang pada berbagai nilai pH dan Eh (Jorgensen, 1980).

proses reduksi sulfat, H₂S terlepas ke udara dan dan hilang dari substrat sehingga proses ini dinamakan proses **desulfurisasi**. Proses desulfurisasi mirip dengan proses denitrifikasi pada siklus nitrogen. Di antara bakteri pereduksi sulfat, yang paling meluas sebarannya adalah *Desulphovibrio desulphuricans*. Konsentrasi aneka bentuk senyawa belerang relatif tinggi yakni sekitar 0,2%. Konsentrasi ini adalah suatu jumlah yang cukup tinggi yang menyebabkan belerang bukan merupakan nutrisi pembatas. Meskipun demikian, belerang dianggap penting dari segi manajemen karena juga berperan dalam mobilisasi fosfat. Dalam praktek-praktek limnoengineering, siklus belerang perlu diperhatikan karena mekanisme kombi-nasinya dengan proses adsorpsi fosfat dengan besi. Pada kondisi anoksik, besi (III) yang mengikat fosfat akan tereduksi menjadi besi ferro (II). Karena rendahnya kelarutan besi disulfida (FeS), besi (II) fosfat akan diubah menjadi besi FeS₂ dengan lepasnya ion fosfat.

Kesetimbangan SO_4^{2-}/S^{2-} tergantung pada Oxidative Reductive Potentials (ORP atau Ev) dan juga pada pH. Hubungan...

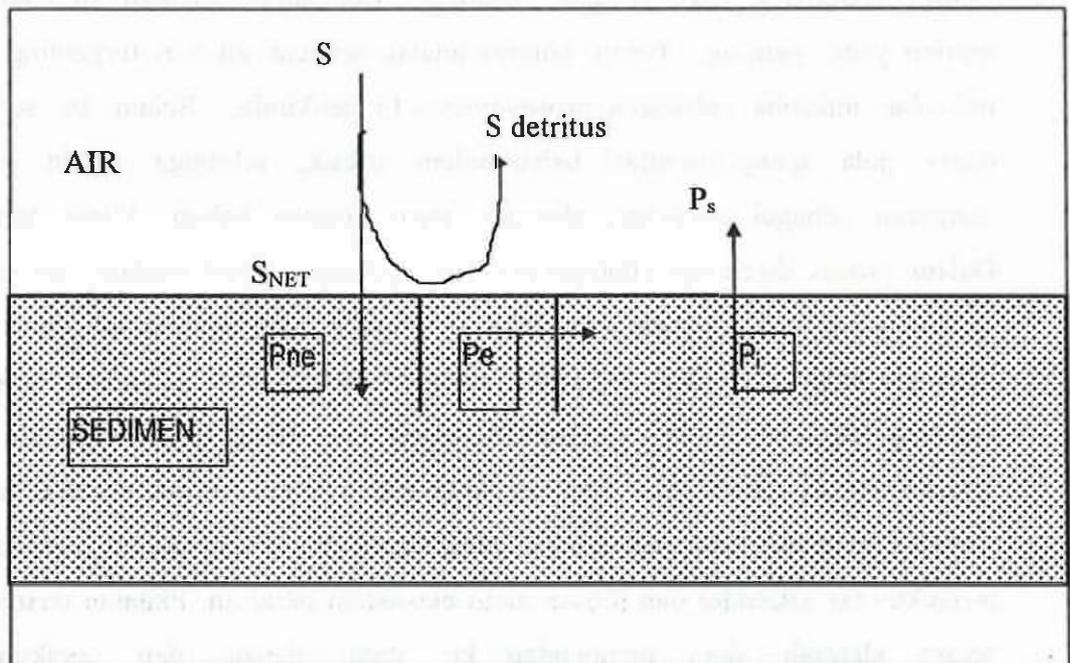
sedimen dan air, perlu didapat informasi kuantitatif mengenai peran peubah-peubah pH dan ORP sebagai fungsi pengendali pembentukan sulfida, dalam menentukan laju pelepasan fosfor dari sedimen.

Proses-proses di sedimen

Informasi mengenai pola, proses dan mekanisme alamiah yang terjadi di sedimen danau-danau tropika sangat sedikit. Di lain pihak sebenarnya sedimen suatu perairan penting diperhatikan karena sifat-sifatnya sebagai "sink" (tempat keluarnya) dan "sources" (tempat pemasokan) dari nutrien-nutrien yang penting. Peran lainnya adalah sebagai substrat terpenting bagi mikroba-mikroba pelaksana proses-proses biogeokimia. Selain itu sedimen dapat pula mengakumulasi bahan-bahan toksik, sehingga selain dapat berperan sebagai penyaring alamiah untuk spesies bahan kimia tertentu. Dalam proses discharge (pelepasan) dan recharge (penyerapan) air tanah, sedimen dapat juga berperan sebagai sumber pencemaran air tanah oleh beberapa bahan beracun. Melalui proses biogeokimiawi, sejumlah logam di sedimen terdapat pada konsentrasi yang jauh lebih tinggi daripada konsentrasinya di dalam air. Sedimen juga sudah lama dikenal sebagai tempat hidup organisme makrovertebrata yang berperan penting dalam mendukung produktivitas sekunder dan tersier suatu ekosistem perairan. Padatan tersuspensi secara alamiah akan mengendap ke dasar danau dan terakumulasi sebagai "sedimen". Sedimen ini terdiri atas senyawa-senyawa organik dan anorganik dari berbagai sumber. Bahan organik terutama terdiri atas sel-sel fitoplankton, makrofit atau detritus sedang bahan anorganik terdiri atas produk-produk erosi serta senyawa-senyawa seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$, SiO_2 , dan CaCO_3 .

Berbeda dengan fosfor, nitrat dapat dengan lincah masuk dan keluar dari sedimen suatu perairan. Di lain pihak, amonium cenderung tertahan oleh partikel sedimen karena adanya muatan listrik dari partikel sedimen tersebut. Adanya turbiditas suatu perairan dapat pula disebabkan oleh partikel-partikel sedimen. Permukaan partikel-partikel sedimen yang terbawa air itu juga merupakan tapak untuk per-tukaran ion antara air dan sedimen. Bila zat seperti nutrien, unsur-unsur runtu (trace elements), logam berat atau

rendah, zat-zat tersebut cenderung untuk dilepaskan ke dalam air. Fenomena kesetimbangan antara nutrien yang teradsorpsi pada partikel sedimen dan air sekitarnya penting diperhatikan dalam manajemen danau. Perlu pula dicatat bahwa mikroba yang melekat pada partikel sedimen umumnya akan memanfaatkan nutrien dan zat-zat lain yang terlarut di air yang terperangkap di ruang antar partikel sedimen tersebut.



Gambar 7. Diagram proses pertukaran Fosfor di sedimen dalam suasana an-aerobik. S = proses sedimentasi, yang terbagi menjadi $S_{detritus}$ dan S_{net} ; P_{ne} : fosfor yang tidak dapat dipertukarkan di sedimen yang belum stabil; P_e = Fosfor yang dapat dipertukarkan di sedimen yang belum stabil; P_i = fosfor yang terdapat pada air antar butiran (interstitial water); P_s : fosfor yang terlarut dalam air (Sumber : Jorgensen, 1980).

Danau atau waduk yang mendapat masukan air dari sebuah sungai, umumnya akan dimuati oleh bahan-bahan tersuspensi yang dibawa aliran sungai. Jumlah bahan tersuspensi tersebut yang mencakup juga zat yang teradsorpsi pada permukaannya, tergantung pada besar atau kecilnya debit sungai dan telah dibuat model matematikanya oleh Forster, *et al* dalam Jorgensen (1985).

Sedimen dapat mengakumulasi senyawa-senyawa yang terbawa di air, sehingga sangat penting untuk mempertelakan secara kuantitatif sifat-sifat aliran masa dari sedimen ke air dan sebaliknya. Berbagai model matematika sudah dibuat, baik dalam kaitan untuk penanggulangan eutrofikasi atau untuk penanggulangan pencemaran lainnya.

Bahan yang mengendap (settled material), S , dibagi menjadi S_{detritus} dan S_{net} . S_{detritus} akan termineralisasi oleh aktivitas mikroba di kolom air, sedangkan S_{net} adalah jumlah material yang betul-betul dipindahkan ke sedimen. S_{net} dapat juga dibagi menjadi dua aliran, yaitu aliran ke sedimen stabil yang tidak dapat dipertukarkan dan aliran ke sedimen tak stabil dan dapat dipertukarkan. Diagram dinamika proses sedimentasi Fosfor disajikan pada Gambar 7. Dengan penalaran yang sama, kita dapat membedakan antara konsentrasi fosfor yang non exchangeable P_{net} dan konsentrasi fosfor yang exchangeable P_e . Analisis terhadap data profil P di sedimen (Gambar 7) akan menghasilkan suatu nilai perbandingan antara bagian fosfor yang exchangeable dan yang non exchangeable dari fosfor yang terenapkan.

Kamp-Nielsen dalam Jorgensen (1985) memasukkan mineralisasi S_{detritus} dalam model sedimen dengan jalan memasukan fakta adanya lapisan biologis yang sangat aktif di permukaan sedimen. Bila laju sedimentasi melewati suatu nilai tertentu, SL , maka besar aliran masa ke lapisan yang aktif secara biologis dinyatakan sebagai $S-SL$.

Untuk nitrogen telah dikembangkan pula suatu model serupa, dengan mempertimbangkan faktor-faktor lepasnya nitrogen dari sedimen. Model tersebut dirumuskan sebagai fungsi konsentrasi nitrogen di sedimen dan suhu, dengan mempertimbangkan kondisi aerobik dan anaerobik.

$$\text{Pelepasan N (aerobik)} = (3,9 \cdot SN + 0,13) e^{0,134 \cdot t} \quad (\text{Pers. 1})$$

$$\text{Pelepasan N (anaerobik)} = (4,0 \cdot SN + 0,08) e^{0,151 \cdot t} \quad (\text{Pers. 2})$$

dengan:

SN = konsentrasi nitrogen di sedimen yang dinyatakan sebagai mg N/ml.

t = suhu

3. METODA KERJA

Untuk mencapai tujuan seperti yang tercantum pada Bab I dilakukan pengumpulan data primer, data sekunder dan pengambilan sampel di Danau Teluk. Kegiatan-kegiatan tersebut dapat dikelompokkan menjadi empat pendekatan yaitu :

3.1. Pendekatan peruntutan penyebab kematian ikan

Untuk mengetahui pada tingkat awal penyebab terjadinya kematian ikan di Danau Teluk maka dilakukan pembedahan bangkai ikan atau **necropsy** (Kabata, 1985), baik terhadap ikan yang sekarat hampir mati atau ikan sehat yang dimatikan secara tidak merusak. Dalam pengumpulan data ini dilakukan pengamatan visual terhadap keadaan tubuh ikan, kemulusan kulit, warna mata, ada tidaknya luka-luka di tubuh ikan dan sebagainya.

3.2. Pendekatan pengkajian kualitas air

Kualitas air di Danau Teluk dikaji dengan pengambilan data primer profil kualitas air pada beberapa jalur transek di Danau Teluk. Letak masing-masing posisi pengukuran kualitas air di Danau Teluk disajikan pada Lampiran 1. Data kualitas air yang diukur di masing-masing stasiun adalah data posisi di muka bumi dengan alat GPS, data kedalaman maksimum, pH, suhu udara, suhu air, konduktivitas, turbiditas dan konsentrasi oksigen terlarut (Dissolved Oxygen). Pembuatan profil kualitas air dilakukan dengan pengukuran parameter-parameter tersebut pada setiap interval kedalaman 0.5 meter dengan ulangan masing-masing kedalaman enam kali. Selanjutnya juga dilakukan pengambilan contoh air pada beberapa stasiun yang terpilih di Danau Teluk. Sampel yang diperoleh selanjutnya dianalisis parameter-parameter kualitas air seperti BOD, CO₂, Alkalinitas (Alk), Suspended Solid (SS), Chlorophyl (Chlo), NO₃, NO₂, NH₃ dan lain sebagainya. Metoda analisis yang digunakan adalah seperti yang disajikan dalam Standard Methods for Water and Wastewater Analysis (Anonymous, 1975)

3.3. Pendekatan penghitungan sediaan oksigen sebagai dasar pendugaan daya dukung perairan untuk kegiatan budidaya air

Definisi operasional **daya dukung perairan untuk budidaya air** dalam kegiatan ini adalah jumlah individu ikan yang dapat ditampung oleh suatu volume kolom air yang kandungan oksigen terlarutnya minimum 4 mg/l. Pendekatan ini merupakan pengembangan dari model penghitungan jumlah individu ikan yang potensial menghuni suatu volume perairan darat atas dasar data konsumsi oksigen per satuan bobot ikan per satuan waktu (Hartoto, 1997). Berkenaan dengan pendekatan ini maka dilakukan pemetaan kontur kedalaman Danau Teluk dengan bantuan alat Global Positioning System (GPS), pemberat bertali, planimeter dan kurvimeter.

3.4. Pengkajian alternatif potensi peningkatan daya dukung

Kesempatan ini digunakan juga untuk mencari alternatif teknik untuk memulihkan kualitas air danau Teluk sebagai cara untuk meningkatkan daya dukung perairan untuk budidaya perairan darat. Pemilihan data didasarkan atas identifikasi parameter kunci yang menyebabkan menurunnya kualitas air, kondisi daya serap teknologi masyarakat setempat dan teknologi tepat guna yang tersedia.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil necropsy

Data hasil necropsy terhadap ikan yang sakit yang berasal dari karamba dibandingkan dengan data hasil pembedahan ikan yang sehat yang juga dari karamba disajikan pada Lampiran 1. Dari hasil necropsy teramati bahwa pada ikan yang sakit terlihat adanya pembengkakan hati. Hati yang bengkak ini menunjukkan bahwa pada waktu-waktu sebelumnya ikan yang sakit ini terpaksa memaksa kerja hatinya lebih keras dibandingkan ikan yang sehat. Hal ini diduga karena ikan ini terdedah (exposed) pada kondisi lingkungan yang

4.2. Kualitas air Danau Teluk

Data hasil pengukuran kualitas air pada berbagai kedalaman di berbagai titik pengambilan data di Danau Teluk disajikan pada Lampiran 2, sedangkan hasil analisis piktorial profil kedalaman masing-masing parameter disajikan pada Gambar yang tersaji pada Lampiran 3.

4.2.1. Profil Hubungan nilai pH dengan Kedalaman

Profil pada Lampiran 3 menunjukkan bahwa pada titik 2 nilai pH berkisar dari 7.3 di kolom air permukaan. Data pada Lampiran 3a untuk titik pengambilan contoh kedua menunjukkan bahwa nilai pH dari kolom air permukaan ke lapisan dasar berkisar antara 7.3 sampai 6.18. Pola yang serupa ditemukan pada titik pengambilan ke tiga sampai kesembilan dengan sedikit variasi besar nilai pH di kolom air lapisan permukaan. Demikian pula halnya dengan kisaran nilai pH di titik-titik pengamatan yang lain. Pola seperti ini menunjukkan bahwa di siang hari nilai pH perairan Danau Teluk masih memenuhi syarat untuk budidaya ikan, karena memenuhi kisaran nilai yang dapat ditolerir ikan yaitu antara 6.8-8.6. Disisi lain sedangkan kualitas air di kolom air yang lebih dalam dari 1,5 meter umumnya nilai pH-nya lebih rendah dari persyaratan budidaya air kecuali untuk kolom titik-titik pengamatan nomor 13, 16, 17, 18, 19 dan 20.

4.2.2. Profil Hubungan Nilai Turbiditas Dengan Kedalaman.

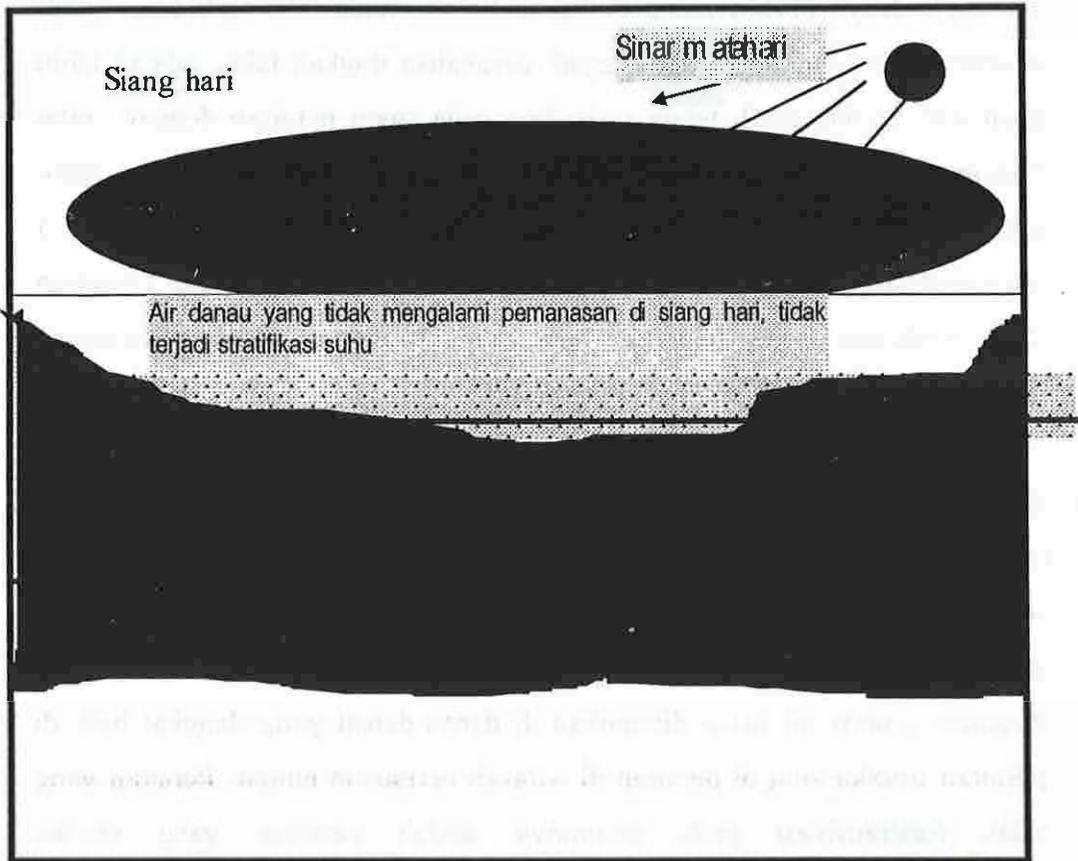
Data hubungan nilai turbiditas dengan kedalaman yang tercantum pada Lampiran 3a sampai Lampiran 3s menunjukkan suatu keadaan yang secara garis besar mempunyai pola umum semakin dalam turbiditas semakin besar, dengan perkecualian pada titik pengambilan contoh ketiga, kedelapan, titik UPPU, titik 12 dan titik 13. Fenomena dapat dijelaskan karena adanya partikel-partikel debu-asap yang jatuh ke permukaan danau dari udara dan perlahan mengendap ke dasar perairan. Karena sebaran partikel-partikel debu dan asap yang jatuh ke permukaan danau tidak merata, demikian pula pengaruh angin juga tidak merata maka waktu yang diperlukan untuk partikel-partikel tersebut

187 mg/l. Boyd (1980) mengemukakan bahwa batas nilai turbiditas untuk kesehatan ikan budidaya tanpa terjadi perubahan tingkah laku adalah lebih kecil dari 20.000 mg/l, tetapi disisi lain pada suatu perairan dengan nilai "suspended solid" yang lebih besar dari 80 mg/l sulit sekali diharapkan suatu produksi perikanan yang baik. Fakta yang tercantum pada Lampiran 3 menunjukkan bahwa turbiditas nampak bukan menjadi penyebab kematian ikan meskipun pada beberapa titik nilai turbiditas tidak mendukung diperolehnya produksi perikanan yang baik.

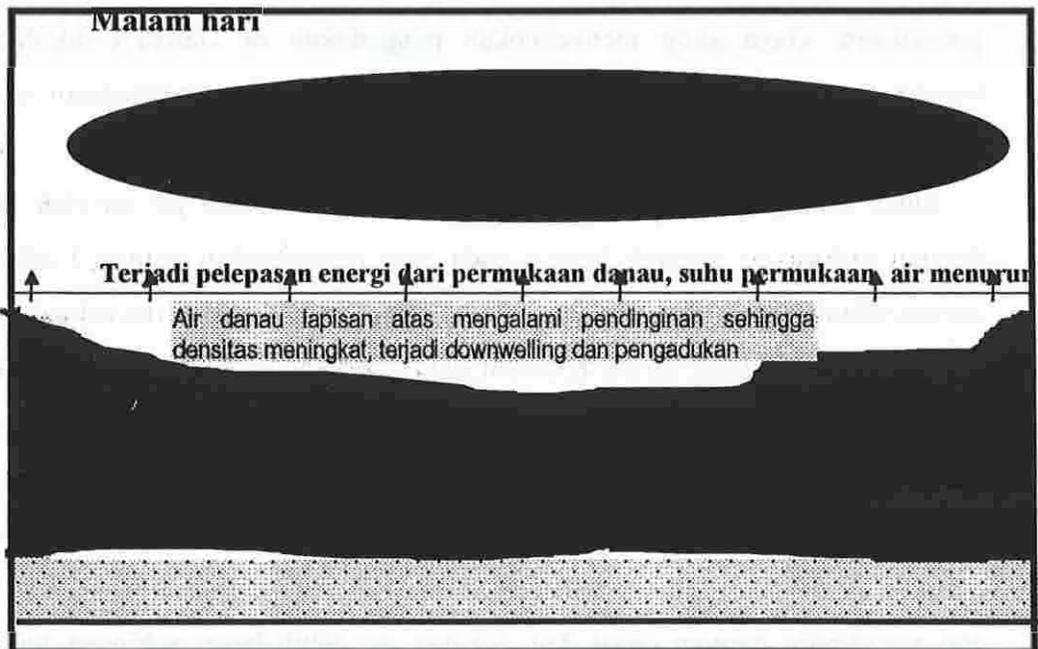
4.2.3. Profil hubungan suhu dengan kedalaman

Dari data yang tercantum pada Lampiran 3 dapat disimak bahwa suhu dapat dikatakan tidak berbeda antara lapisan kolom air sebelah atas dengan kolom air sebelah bawah. Dengan perkataan lain tidak terjadi stratifikasi suhu. Keadaan seperti ini biasa ditemukan di danau-danau yang dangkal baik di perairan tropika atau di perairan di wilayah bermusim empat. Perairan yang tidak terstratifikasi pada umumnya adalah perairan yang rendah kestabilannya, dalam arti sedikit saja ada gaya yang bekerja di permukaan danau akan dapat menyebabkan terjadinya pengadukan air sehingga kolom air sebelah bawah bercampur dengan kolom air sebelah atas atau permukaan. Gaya yang menyebabkan pengadukan di Danau Teluk dapat berupa hembusan angin atau perbedaan suhu kolom air permukaan yang mengalami pendinginan di malam hari.

Tidak terdapatnya perbedaan yang jelas antara kolom air sebelah atas dengan kolom air sebelah bawah pada saat pengambilan contoh I adalah karena adanya asap dari kebakaran hutan telah menyebabkan intensitas sinar matahari yang datang ke permukaan danau terhalang oleh partikel-partikel yang ter-suspensi di udara, sehingga unsur energi sinar matahari tidak dapat meningkatkan suhu air di permukaan di siang hari. Di malam hari karena sama sekali tidak ada energi matahari maka penurunan suhu di lapisan permukaan berjalan lebih intensif (Gambar 8) sehingga kolom air sebelah atas mendingin dengan cepat dan densitas air lebih besar sehingga terjadi



Gambar 8a. Distribusi energi yang sampai ke Danau Teluk pada siang hari saat terjadi musim asap di musim kemarau.



Gambar 8b. Distribusi

Sesuai hukum aksi massa setiap terjadi aliran "down welling" akan segera diikuti aliran air ke atas atau "upwelling". Gejala mudah hilangnya energi dari lapisan permukaan air danau pada musim kemarau ini diperkuat dengan keadaan dimana uap air sangat sedikit, awan tidak ada atau jarang sehingga proses lepasnya energi dari danau dapat lebih cepat di musim kemarau dibandingkan di musim hujan yang banyak uap air yang bersifat menahan lepasnya panas dari permukaan danau.

Fenomena pengadukan air danau oxbow yang dangkal seperti inilah yang seringkali dirujuk oleh penduduk setempat sebagai fenomena "air bangar" yang terjadi hampir setiap tahun dan selalu menyebabkan kematian ikan. Meskipun demikian kematian ikan yang terjadi setiap tahun ini intensitasnya nampak menguat di saat terjadi bencana asap akibat kebakaran hutan pada tahun 1997.

4.2.4. Profil Hubungan Konsentrasi Oksigen Terlarut (Dissolved Oxygen = DO) dengan Kedalaman

Bila kita perhatikan profil hubungan oksigen terlarut dengan kedalaman di titik 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12 dan 13 maka akan teramati bahwa pada ti-tik-titik tersebut konsentrasi oksigen terlarut di dasar perairan sudah mencapai 0 mg/l atau sama sekali tidak ada oksigen. Titik-titik pengambilan contoh tersebut terletak pada perairan yang kedalamannya lebih dari 1.5 meter atau relatif cukup dalam. Di sisi lain titik pengambilan contoh yang kedalamannya tidak terlalu dalam (antara 0-1.0 meter) kandungan oksigennya di lapisan bawah relatif masih cukup tinggi atau bukan nol mg/l. Seperti yang dikemukakan pada Bab 2, suatu perairan yang kandungan oksigennya lebih kecil dari 4 mg/l berarti besar peluang terbentuknya zat-zat beracun di kolom tersebut karena proses metabolisme nitrogen, fosfor, belerang dan karbon cenderung akan menghasilkan zat-zat yang beracun. Zat-zat yang beracun ini tentu saja berpotensi untuk mematikan ikan yang dipelihara di dalam sangkar. Konsentrasi oksigen terlarut yang lebih rendah dari 0.4 mg/l menunjukkan kecenderungan terjadinya pembentukan nitri

4.2.5. Sifat umum sedimen Danau Teluk

Adanya zat-zat yang beracun yang terakumulasi di kolom air lapisan bawah diduga berasal dari sisa pakan ikan yang diberikan pada ikan yang dipelihara dalam sangkar ikan. Dugaan ini diperkuat dengan data konsentrasi amonia dan nilai pH sedimen yang diambil di lima titik terpilih di Danau Teluk seperti yang disajikan pada Tabel 3. Data pada Tabel 3 menunjukkan suatu nilai pH di sedimen yang cukup rendah dan cukup tinggi konsentrasi amonia di sedimen. Suatu konsentrasi amonia yang relatif tinggi di sedimen berperan sebagai sumber amonia yang akan memasok amonia di kolom air di atasnya.

Amonia dalam bentuk gas baru dapat hilang dari sedimen pada pH yang tinggi dan terjadi proses denitrifikasi (Uhlman, 1975). Keadaan sedimen yang menunjukkan nilai pH yang rendah serta kemungkinan terjadinya hambatan terjadinya proses denitrifikasi karena masih tersedia oksigen di kolom atas, diduga menyebabkan amonia sukar hilang dari sedimen dan juga lapisan air di atasnya.

4.2.6. Kisaran nilai parameter kualitas air yang lain

Pada tahun 1996, telah dilakukan pemantauan keadaan Danau Teluk oleh peneliti dari Puslitbang Limnologi-LIPI. Pengambilan data dilakukan pada lima stasiun seperti yang tertera pada Tabel 4 dan hasil pemantauannya disajikan pada Tabel 5. Data yang diperoleh menunjukkan suatu keadaan dimana sedimen dasar sudah bersifat asam, baik pada musim kemarau atau musim pancaroba tahun 1996. Sifat asam ini diperkirakan karena terjadinya akumulasi bahan organik yang membusuk di dasar danau sebagai akibat terumpuknya sisa-sisa pakan yang tidak dapat terurai karena sediaan oksigen terlarut di musim kemarau dan pancaroba tidak mencukupi (<4 mg/l), meskipun keadaan tersebut nampak sedikit membaik di musim hujan.

Tabel 3. Data sifat sedimen pada lima stasiun pengambilan contoh terpilih di Danau Teluk, 26 Agustus 1997

No.	Kode stasiun dan Posisi dengan GPS	Kadar air %	pH		N-NH ₄ ⁺ mg/kg
			dalam H ₂ O	dalam KCl	
1	St1, Di depan mulut alur air dari S Batanghari S: 1° 34,705' E: 103° 25,738'	16,28	4,67	4,42	80,67
2	St2, Dekat Pulau di tengah Danau Teluk S: 01° 34,634' E: 103° 35,866'	14,01	4,47	4,63	55,60
3	St3, Tepian danau antara mesjid dan kantor Camat S: 1° 34,634' E: 103° 36,044'	15,05	4,34	4,43	44,66
4	St4, Di tepian danau dekat Pohon Rengas S: 1° 34,903' E: 103° 35,992'	15,94	4,54	4,30	52,25
5	St5, Di depan hatchery terapung milik UPPU S: 1° 34,780' E: 103° 36,929'	15,29	3,53	4,55	155,52

Tabel 4. Ciri-ciri stasiun pengambilan data dan contoh di Danau Teluk pada tahun 1996

Danau	Stasiun	Posisi	Keterangan
Danau Teluk	1	S 1° 34' 50,8" E 103° 35' 54,0"	Mulut alur Sungai Danau Teluk, banyak permukiman penduduk pada sistem riparian
	2	S 1° 34' 26,7" E 103° 35' 49,9"	Bagian dari danau yang banyak unit-unit karamba apung
	3	S 1° 34' 35,0" E 103° 35' 55,0"	Bagian dari danau yang banyak digunakan sebagai lokasi operasi anco ukuran besar
	4	S 1° 34' 45,4" E 103° 36' 6,9"	Bagian danau yang tidak digunakan secara intensif sebagai lokasi budidaya tetapi banyak permukiman di sistem ripariannya
	5	S 1° 35' 13,6" E 103° 36' 10,5"	Ruas sungai Batang Hari yang terkait dengan Danau Teluk

Konsentrasi amonia di Danau Teluk menunjukkan tingkat yang cukup tinggi yaitu rata-rata sebesar 1,324 mg/l di musim kemarau, 0,372 mg/l di musim pancaroba dan 0,167 mg/l di musim hujan. Meskipun Boyd (1990) menyatakan bahwa European Inland Fisheries Advisory Commission menetapkan konsentrasi toksik amonia pada ikan air tawar untuk pendedahan singkat adalah antara 0,7 sampai 2,4 mg/l, tetapi dikemukakan pula oleh beberapa peneliti bahwa perubahan histologis ikan akan terjadi pada pendedahan jangka panjang pada konsentrasi amonia (NH_3) antara 0,006 sampai 0,34 mg/l.

Konsentrasi nitrit juga nampak berada pada konsentrasi yang dapat terdeteksi (0,003-0,099 mg/l). Meskipun belum mencapai nilai LC_{50} 96 jam untuk ikan air tawar (0,66-200 mg/l), tetapi karena konsentrasi subletal nitrit meningkatkan kerawanan ikan terhadap penyakit bakterial maka konsentrasi nitrit yang terdeteksi memberikan petunjuk adanya ancaman munculnya penyakit ikan. Konsentrasi nitrit di Danau Teluk tersebut juga relatif lebih besar bila di-bandingkan dengan kriteria kualitas untuk air Golongan C (Perikanan) untuk nitrit-N maksimum 0,06 mg/l (Sek Men KLH, 1990). Apalagi beberapa peneliti dalam Boyd (1990) mengungkapkan daya racun nitrit tergantung konsentrasi klorida, pH, ukuran ikan, pendedahan sebelumnya, status nutrisi, infeksi dan konsentrasi oksigen terlarut. Dari fakta-fakta yang dibahas sebelumnya dapat disimak bahwa sejak tahun 1996 perairan Danau Teluk sudah menyimpan potensi bahaya adanya kematian ikan.

Pada Tabel 6 disajikan data pemantauan Danau Teluk yang dilakukan pada bulan Juni 1997 dan September 1997. Dari Tabel 6 tersebut terlihat bahwa konsentrasi amonia di beberapa tempat sudah menunjukkan keadaan yang bersifat toksik bagi ikan. Demikian pula halnya dengan konsentrasi senyawa-senyawa sul-ida di Danau Teluk, dimana konsentrasi hidrogen sulfida berkisar antara 0,033 sampai 0,680 mg/l. Hidrogen sulfida hanya stabil dalam kondisi anaerobik dan bersifat toksik bagi semua organisme karena ikatan hidrogen sulfida

terakhir sistem pernafasan sehingga berpotensi mengganggu sistem pernafasan hewan (Rheinheimer, 1985). Abel (1989) menyitir bahwa Adelman & Smith pada tahun 1972 melaporkan bahwa ambang batas letal toksisitas hidrogen sulfida pada *Carra-sius auratus* pada suhu 26 °C adalah 60 ug/l. Selain itu diketahui bahwa pada umumnya toksisitas hidrogen sulfida semakin meningkat dengan meningkatnya suhu.

4.2.7. Studi variasi diurnal sifat limnologis Danau Teluk

Untuk mendapatkan data variasi diurnal sifat limnologis Danau Teluk telah dilakukan pengukuran kualitas air lapisan 0 sampai 4,5 meter untuk parameter-parameter suhu, pH, turbiditas, konsentrasi oksigen terlarut (DO). Pengukuran dilakukan pada tanggal 22 Agustus 1997 dan 26-27 November 1997. Data hasil pengukuran variasi diurnal kualitas air Danau Teluk di titik pengambilan contoh stasiun UPPU disajikan pada Lampiran 4 dan Lampiran 5. Pengukuran kualitas air dilakukan pada pukul 20.00 sampai pukul 17.00 keesokan harinya untuk pengambilan data tanggal 22 Agustus 1997, sedangkan pengambilan data pada tanggal 26-27 November 1997 dilakukan antara pukul 12.00 sampai pukul 12.00 keesokan harinya.

Tabel 5. Data parameter sifat kimia, biologi, fisika, dan hidrologi Danau Teluk pada tahun 1996

Musim	Stasiun	pH	Cond µS/cm	Sec. cm	Suhu °C	DO mg/l	BOD ₅ mg/l	CO ₂ mg/l	Alk. mg/l*	SS mg/l	Chlo µg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₃ mg/l	T-N mg/l	pH sedimen dalam		
																H ₂ O	KCl	
Kemarau	1s	7.31	62.6	37.5	29.8	6.8	-	4.68	36.0	6.0	2.3	0.047	0.003	1.172	3.463	4.28	3.53	
	b	7.29	67.5	-	28.9	2.8	-	-	-	-	-	0.072	-	1.938	3.463	-	-	
	2s	6.92	63.1	64.8	30.8	6.2	-	7.02	33.0	0.0	1.1	0.047	0.003	1.172	2.223	4.25	3.58	
	b	7.20	65.1	-	30.5	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3s	8.07	63.9	68.0	30.8	6.2	-	4.68	33.9	8.0	5.3	0.047	0.003	1.172	2.346	4.46	3.85	
	b	6.89	64.9	-	30.6	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4s	7.23	64.7	51.6	31.4	9.6	-	4.68	36.9	0.0	0.3	0.047	0.003	1.172	3.208	3.38	3.42	
	b	6.89	91.1	-	29.1	2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	7.21	58.3	-	28.9	6.6	-	-	33.0	31.0	0.0	0.470	0.004	0.143	1.088	-	-	
	Pancaroba	1s	6.86	57.9	33.0	31.6	8.2	3.1	1.71	20.2	8.6	0.5	0.426	0.050	0.327	4.955	4.43	3.61
b		7.08	53.7	-	-	-	-	2.99	17.2	83.3	-	0.629	0.021	0.871	3.969	-	-	
2s		7.45	59.8	69.0	31.9	10.4	3.5	1.71	18.2	12.0	1.1	0.021	0.020	0.575	4.576	4.26	3.54	
b		7.94	61.0	-	31.5	-	-	2.99	18.2	21.0	-	1.293	0.040	0.000	3.233	-	-	
3s		6.93	60.1	77.8	31.8	10.0	5.4	0.85	20.2	7.5	2.0	0.036	0.002	0.520	6.072	4.92	3.79	
b		7.96	60.1	-	31.3	-	-	1.85	20.2	20.5	-	0.770	0.004	0.322	3.864	-	-	
4s		8.80	65.6	85.5	32.6	8.3	2.4	3.71	21.7	6.5	0.4	0.363	0.099	0.235	4.893	3.98	3.49	
b		6.97	61.6	-	31.9	-	-	3.41	21.7	14.0	-	7.27	0.002	0.167	3.703	-	-	
5		6.65	48.7	-	-	-	-	3.41	17.2	207.1	0.0	0.627	0.024	0.627	3.463	-	-	
Hujan		1s	7.96	47.8	44.1	30.1	6.7	3.6	4.62	98.2	16.3	20.0	0.245	0.000	0.150	2.013	-	-
	b	7.8	47.4	-	30.5	5.6	3.4	2.64	139.7	19.0	8.7	0.469	0.000	0.209	2.026	-	-	
	2s	7.15	54.1	50.5	30.1	7.6	3.6	1.10	127.1	11.3	9.4	0.062	0.002	0.129	1.326	-	-	
	b	7.04	50.0	-	29.6	4.1	2.0	1.10	144.3	21.7	9.0	0.727	0.003	0.283	3.264	-	-	
	3s	7.42	47.3	45.3	29.9	7.8	2.0	2.12	167.2	2.3	15.2	0.352	0.000	0.41	1.660	-	-	
	b	7.27	50.6	-	28.9	4.4	2.4	1.10	192.1	20.0	21.6	0.138	0.000	0.324	1.325	-	-	
	4s	7.57	61.6	74.9	30.1	5.6	2.6	2.42	154.7	9.3	18.9	0.141	0.000	0.013	1.254	-	-	
	b	7.08	60.4	-	-	5.2	2.3	2.42	130.4	9.7	6.7	0.297	0.000	0.087	1.204	-	-	
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Catatan : * CaCO₃ e quiv ant ; s : kolom permukaan ; b : dasar ; Sec: Kedalaman Cakram Secchi , (Sumber Hartoto *et al*, in Publication)

Tabel 6. Data parameter limnologis hasil pemantauan bulan Juni dan September 1997.

Kode Stasiun	Kedalaman m	Kedalaman ^{an} Secchi m	pH	Cond mS/cm	Turb. NTU	DO mg/l	Suhu Air °C	CO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₃ mg/l	PO ₄ mg/l	T-P mg/l	T-N mg/l	BOD ₅ mg/l	COD mg/l	T-S mg/l	H ₂ S mg/l
Juni 1997 St1, atas bawah	0,70	0,65	7,26	0,056	33	5,75	30,9	5,2	0,072	-	0,218	0,016	0,234	1,127	5,23	-	-	-
			6,84	0,056	32	-	30,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
St2, atas bawah	0,90	0,55	7,02	0,055	31	7,59	31,2	4,1	0,072	-	0,020	0,023	0,146	1,119	6,93	-	-	-
			6,99	0,055	34	-	31,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
St3, atas bawah	0,69	0,69	7,02	0,053	17	7,52	31,2	5,0	0,125	-	0,020	0,030	0,163	0,803	5,90	-	-	-
			6,95	0,054	43	-	31,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
St4, atas bawah	3,20	0,75	7,32	0,052	22	7,52	31,9	4,2	0,117	-	0,020	0,039	0,114	0,782	5,30	-	-	-
			6,39	0,111	12	-	28,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sept. 1997 Musim asap, St1, atas bawah	2,60	0,53	8,32	0,072	25	11,59	30,6	-	0,045	0,001	0,012	0,013	0,141	1,766	9,92	27,3	0,69	0,04
			7,13	0,071	24	4,26	29,6	-	1,019	0,001	0,019	0,036	0,545	2,210	14,96	44,1	0,82	0,32
St2, atas	3,10	0,63	8,13	0,073	19	10,38	30,0	-	0,149	0,002	0,062	0,015	0,183	1,414	10,30	31,8	0,72	0,04
			6,51	0,136	17	0,00	28,5	-	1,337	0,003	0,152	0,043	0,848	2,694	7,12	48,4	0,79	0,59
St3, atas bawah	4,20	0,55	8,41	0,072	21	11,70	30,5	-	0,112	0,011	0,120	0,013	0,149	1,618	3,67	30,9	0,66	0,03
			6,59	0,156	20	0,02	28,5	-	1,241	0,003	0,130	0,027	0,459	2,046	15,23	41,0	1,03	0,73
St4, atas bawah	1,30	0,50	8,52	0,073	32	11,41	31,0	-	0,073	0,001	0,051	0,016	0,185	1,570	11,44	34,6	0,66	0,03
			7,06	0,072	39	5,22	29,3	-	1,410	0,005	0,193	0,018	0,596	1,692	26,20	34,3	0,72	0,32
St5, atas bawah	6,20	0,50	7,42	0,072	18	9,27	29,8	-	0,136	0,055	0,097	0,021	0,173	1,348	10,81	34,7	0,66	0,17
			6,63	0,416	16	0,00	28,1	-	2,337	0,033	0,760	0,263	0,997	4,266	27,710	24,5	1,03	0,69

St5 : Depan hatchery terapung UPPU atau di depan posisi reaktor Injeksi LIMNOTEK 3.1, Stasiun yang lain sesuai keterangan pada Tabel 3

T-P : Total-Fosfor, T-N = Total Nitrogen ; T-S = Total Sulfida

4.2.7.1. Variasi diurnal parameter suhu.

Data pengambilan contoh tanggal 22 Agustus 1997 menunjukkan variasi suhu yang tidak besar yaitu suhu air tertinggi ($29,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) dijumpai pada pukul 17.00 sedangkan suhu terendah ($28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) ditemukan pada pukul 08.00. Pola seperti ini ditemukan pada kolom air di kedalaman 0,0 sampai 2,0 meter. Variasi suhu yang lebih kecil antara $28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ dijumpai pada kolom air di kedalaman 2,5 meter sampai 4,5 meter. Meskipun variasi suhu diurnal ini tidak besar tetapi perbedaan suhu yang hanya sekitar satu derajat Celsius ini untuk daerah tropis sudah cukup berarti dari sisi perbedaan densitas air. Pada waktu lepas subuh sampai sekitar 08.00 terjadi penurunan suhu dan bila ada angin sedikit saja maka besar kemungkinan terjadinya proses pengadukan di danau Teluk. Bila kita perhatikan data pada Lampiran 4b terlihat bahwa suhu terendah untuk lapisan kolom air yang lebih dalam (2.5-4.5 meter) juga terjadi pada waktu yang sama yaitu pukul 08.00. Pola yang hampir serupa ditemukan pada pengambilan contoh tanggal 26-27 November 1997, dimana pada lapisan air sebelah atas (0-1.5 meter) suhu terendah juga dijumpai pada pukul 08.00, sedangkan kolom air yang lebih dalam variasi suhunya relatif jauh lebih kecil.

Berdasarkan pengamatan penduduk lokal, kejadian pengadukan air danau dirujuk dengan "air bangar" yang merupakan fenomena yang selalu terjadi selama berabad-abad di danau-danau banjiran di awal musim hujan. Mekanisme pengadukan air danau pada fenomena air bangar alamiah disebabkan oleh terjadinya "density current" terutama di awal musim hujan. Hujan-hujan pertama di awal musim hujan yang jatuh ke permukaan tanah dan melarutkan partikel-partikel detritus organik atau partikel non organik yang menyebabkan massa air aliran permukaan (surface run off) tersebut mempunyai densitas yang lebih besar. Aliran air ini akan masuk ke perairan danau banjiran dan mengaduk lapisan air danau sehingga air dari lapisan bawah yang oksigennya rendah akan terangkat ke lapisan permukaan. Bila di sedimen dan kolom air lapisan bawah cukup banyak sisa proses metabolisme yang

dibudidayakan masih dapat lari menghindar dan cukup mempunyai daya adaptasi maka kematian ikan akibat air bangar alamiah biasanya tidak terjadi secara besar-besaran. Pada kondisi perairan danau banjir juga digunakan untuk budidaya, maka akan selalu ada sisa-sisa pakan yang diberikan yang perlahan-lahan terakumulasi di dasar perairan dalam jumlah yang melebihi konsentrasi alamiahnya. Akibatnya pada saat ada air masuk ke danau banjir di awal musim hujan maka ikan-ikan populasi alami dan ikan-ikan peliharaan akan terdedah pada racun tersebut.

4.2.7.2. Variasi diurnal parameter pH

Bila kita perhatikan kurva yang ditunjukkan pada Lampiran 4c, di lapisan kolom air 0,0 sampai 1.5 meter, pH tertinggi (7,2-7,6) ditemukan pada jam 20.00 sedangkan pH terendah ditemukan pada jam 11.00. Variasi diurnal nilai parameter pH pada kolom air yang lebih dalam (2,0-4,5 meter) relatif lebih kecil ($\pm 0,4$ °C). Data variasi diurnal pada tanggal 26-27 November 1997 menunjukkan pola yang agak berbeda yaitu untuk lapisan kolom air antara (0,0-2,0 meter) nilai pH terendah ditemukan jam 24.00, sedangkan nilai pH tertinggi ditemukan pada jam 12.00 atau jam 20.00. Untuk lapisan kolom air yang lebih dalam (2,5-4,5 meter) variasi pH sangat kecil dari waktu ke waktu. Dari fakta yang tercantum di Lampiran 4c-4d serta Lampiran 5c - 5d, tersirat bahwa penyebab variasi nilai pH di air nampak terpengaruh oleh sediaan oksigen terlarut di dalam air.

4.2.7.3. Variasi diurnal parameter turbiditas

Teramati adanya berbagai pola variasi diurnal turbiditas di Danau Teluk pada tanggal 22 Agustus 1997 dan 26-27 November 1997 seperti yang dicantumkan pada Lampiran 4e-f dan Lampiran 5e-f. Dari kurva untuk tanggal 22 Agustus 1997 teramati adanya pola pertama yaitu pola serupa untuk lapisan kolom air pada kedalaman 0, 0,5, 1,0 dan 1,5 m. Pola kedua untuk lapisan air pada kedalaman 2,0 sampai 2,5 meter. Pola ketiga untuk lapisan air pada kedalaman 3,0-4,0 meter sedangkan pola ke empat

empat pola variasi diurnal turbiditas di kolom air. Fakta-fakta tersebut diatas sekali lagi menunjukkan bukti tambahan terjadinya pengadukan kolom air di Danau Teluk.

4.2.7.4. Variasi diurnal parameter konsentrasi oksigen terlarut

Pada Lampiran 4g (tanggal 22 Agustus 1997) terlihat adanya pola yang sama variasi diurnal oksigen pada kolom air di kedalaman 0,0 sampai 1,5 meter, dimana terlihat konsentrasi tertinggi dijumpai pada jam 17.00 dan 20.00 (7,5-7,3 mg/l) dan konsentrasi yang sangat rendah (0,8-1,5 mg/l) pada jam 08.00. Konsentrasi terendah untuk kolom air pada kedalaman 1,5 dan 2,0 meter ditemukan pada jam 08.00 dan 17.00 sedangkan konsentrasi tertingginya tidak pernah mencapai 3 mg/l, Kolom air yang lebih dalam bahkan menunjukkan kondisi perairan yang semakin anaerobik karena hampir tidak pernah ada waktu dengan konsentrasi oksigen melebihi 2 mg/l.

Kondisi pada tanggal 26-27 November 1997 menunjukkan konsentrasi oksigen terlarut terendah (≈ 3 mg/l) untuk kolom air pada kedalaman 0,0-1,5 meter ditemukan pada jam 16.00 sedangkan konsentrasi oksigen terlarut tertinggi ditemukan pada jam 12.00 (≈ 10 mg/l). Pada jam ini pada kedalaman 1,5 sampai 2,0 meter oksigen dapat berada konsentrasi < 1 mg/l atau sekitar 3 mg/l tergantung dari ada tidaknya angin. Kolom air yang lebih dalam dari 2,5 meter menunjukkan lingkungan yang sangat anaerobik dengan konsentrasi oksigen dibawah 1 mg/l.

Fakta-fakta diatas menunjukkan bahwa meskipun ada waktu tertentu di-mana kolom air sebelah atas mempunyai konsentrasi oksigen terlarut yang memenuhi kebutuhan budidaya ikan, tetapi di lain pihak selalu terdapat keadaan dimana kolom perairan sebelah atas pun kembali menjadi anaerobik dalam satu siklus diurnal (sehari). Bahkan kolom air sebelah bawah (2,5-4,5 meter) relatif selalu berada dalam kondisi anaerobik dengan konsentrasi oksigen terlarut mendekati 0 mg/l. Seperti yang dikemukakan pada bab landasan teori, konsentrasi oksigen terlarut dibawah 4 mg/l menunjukkan suatu lingkungan yang cenderung menyebabkan terjadinya akumulasi zat-zat

fosfor, belerang dan nitrogen se-perti misalnya fosfin, nitrit, amonia, gas metan dan asam sulfida. Zat-zat ini bersifat toksik bagi ikan.

Adanya pengadukan yang terjadi berkali-kali dalam sehari inilah yang di-perkirakan menyebabkan terjadinya kematian ikan dalam karamba. Zat-zat ber-acun yang kemungkinan berasal dari proses mikrobiologi metabolisme tak sempurna dari sisa-sisa pellet pakan ikan yang terakumulasi kolom air lapisan bawah akan terbawa keatas sehingga meracuni ikan yang dipelihara dalam sangkar. Proses ini semakin menonjol gejalanya di musim kemarau karena air yang sedikit meningkatkan konsentrasi zat-zat beracun, sedangkan di musim hujan karena volume air lebih besar terjadi proses pengenceran.

4.2.8. Pola dan ketentuan dasar Tata Guna Danau Teluk Berdasar Sifat

Limnologis.

Berdasarkan data limnologis yang sudah dibahas sebelumnya dapat dikemukakan disini bahwa bagian Danau Teluk yang masih memungkinkan untuk dijadikan lokasi pemasangan karamba apung adalah perairan yang kolom air sebelah dasarnya masih mempunyai kandungan oksigen terlarut lebih besar dari 4 mg/l. Alasan-alasan yang dikemukakan untuk mendukung pernyataan ini antara lain adalah:

- a. Di Danau Teluk selalu terjadi pengadukan dan pencampuran kolom air antara lapisan bawah dengan lapisan sebelah atas
- b. Kolom air sebelah bawah yang kandungan oksigennya terlarutnya lebih kecil dari 4 mg/l potensial toksik bagi ikan budidaya.
- c. Hanya tapak-tapak di Danau Teluk yang kolom air di atas dasar dan mempunyai konsentrasinya ≥ 4 mg/l yang potensial sebagai lokasi budidaya ikan dalam sangkar terapung.
- d. Lokasi-lokasi di Danau Teluk yang kedalaman airnya lebih dari 1 meter pada umumnya kolom air sebelah bawahnya berpotensi meracuni ikan yang dipelihara dalam karamba apung.
- e. Untuk meningkatkan kemampuan Danau Teluk dalam mendukung

lapisan “hipolimnion“ sehingga laju proses purifikasi alamiah dapat dipacu kecepatannya.

Sebagai kegiatan pengkajian limnologi dasar Danau Teluk telah dilakukan pemetaan batimetri danau tersebut, yang menghasilkan peta batimetri seperti yang disajikan pada Lampiran 6. Analisis morfometri Danau Teluk mengungkapkan bahwa luas tersebut adalah 401.489 m² atau 40,15 hektar pada saat kemarau, sedangkan volume air danau pada saat itu adalah 764.774 m³. Kedalaman rata perairan Danau Teluk adalah 1,91 m dan kedalaman maksimumnya 6,10 meter di musim kemarau.

Panjang garis pantainya adalah 3621,6 meter, sehingga “shore line development index”nya adalah 1,6. Derajat ketidak teraturan garis pantai (shore line development index) yang sedang ini menunjukkan bahwa pengaruh lingkungan sekitar danau terhadap kualitas air danau relatif sedang saja. Dengan perkataan lain pengaruh aktivitas di danau mungkin lebih menonjol dalam menentukan kualitas air danau dibandingkan pengaruh dari luar danau.

4.3. Penghitungan luas bagian danau yang nilai DOnya memungkinkan untuk budidaya ikan dalam sangkar.

Berdasarkan alasan-alasan tersebut diatas maka dilakukan pemetaan bagian-bagian Danau Teluk yang konsentrasi oksigennya ≥ 4 mg/l. Hasil pemetaannya dapat dilihat pada Lampiran 7. Analisis morfometri lanjutan dilakukan dengan fokus pengamatan adalah penentuan luas dan volume zona I dan Zona II. Yang dimaksud dengan zona I yaitu bagian Danau Teluk yang konsentrasi oksigen terlarutnya di lapisan dasar ≥ 4 mg/l dan zona II yaitu bagian perairan Danau Teluk yang konsentrasi oksigen terlarutnya < 4 mg/l. Zona I adalah zona yang relatif lebih kecil risiko kematian untuk usaha budidaya ikan dalam karamba sedangkan zona II adalah bagian danau yang sangat tinggi risiko kematian ikan nya dalam sangkar. Bahkan terdapat pula bagian danau Teluk yang sangat terbelah air di

% dari luas permukaan danau sedangkan luas zona II 139.507 m² atau 34,7 % luas danau. Meskipun luas zona yang konsentrasi oksigennya memenuhi syarat tetapi untuk budidaya ikan dalam sangkar terapung yang perlu dihitung bukan luas danau tetapi volume air yang potensial untuk kehidupan ikan

4.3.1. Volume air yang dapat dijadikan media budidaya ikan dalam karamba apung

Analisis morfometri danau lebih lanjut menunjukkan bahwa zona I umumnya terletak ditepi danau dengan kedalaman yang relatif rendah sedangkan zona II terletak di bagian tengah danau yang relatif dalam. Volume air zona II lebih besar yaitu 440.842 m³ atau 57,7 % dari volume seluruh air Danau Teluk di musim kemarau sedangkan volume air yang relatif aman (zona I) hanya 323.832 m³ atau 42,3 % dari seluruh volume air. Pola distribusi ini adalah pola pada musim kemarau yang diperkirakan akan berbeda dengan musim hujan.

4.3.2. Estimasi produksi maksimum pada kondisi saat ini

Hartoto (1997) telah mengemukakan sebuah tabel hubungan laju konsumsi oksigen dengan ukuran (bobot) ikan (Tabel 8). Meskipun banyak faktor yang menentukan kemampuan sebuah badan air untuk mendukung jumlah ikan budidaya yang dapat hidup di dalamnya, tetapi sebagai patokan dasar yang aplikatif di lapangan, maka dalam kesempatan ini tersedia oksigen terlarut dijadikan dasar untuk menghitung daya dukung danau. Apalagi sudah dibuktikan pula bahwa dalam studi ini bahwa konsentrasi oksigen sangat mempengaruhi besaran parameter-parameter pengganggu di berbahaya di dalam air.

Tabel 7. Pendugaan konsumsi maksimum oksigen ikan dengan berbagai bobot rata-rata

Rata bobot ikan (g)	Dugaan konsumsi oksigen maksimum per ikan (mg oksigen/ikan/jam)
1	0,5
5	2,5
10	5,0
20	10,0
50	25,0
100	50,0
200	100,0
300	150,0
500	250,0
1000	500,0
2000	1000,0
5000	2500,0

Sumber: Hartoto (1997)

Konsentrasi oksigen di zona I diatas 4 mg/l, meskipun dipermukaan air konsentrasi oksigen terlarut dapat mencapai 10 atau 11 mg/l di waktu puncak, tetapi cenderung menurun di malam hari. Untuk memudahkan penghitungan serta tidak terlalu optimis maka diambil rata-rata 4 mg/l. Penalaran dan perhitungan sediaan oksigen untuk kebutuhan respirasi ikan yang harus tersedia setiap jam disajikan pada Tabel 8. Data pada tabel ini disusun berdasarkan atas hasil studi laju respirasi rata-rata ikan air tawar dan dianggap mendekati kebutuhan oksigen untuk respirasi semua jenis ikan air. Dengan menggunakan data yang tersaji pada Tabel 7 dan Tabel 8 maka dihitung berapa banyak individu aneka ukuran ikan yang dapat ditampung di karamba apung di Zona I Danau Teluk. Hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 9. Nilai-nilai yang disajikan pada Tabel 9 ini tidak persis dengan dugaan kemampuan produksi ikan, tetapi lebih merupakan gambaran banyaknya ikan dalam sangkar yang dapat didukung oleh sistem perairan Danau Teluk setiap saat.

Tabel 8. Penalaran dan perhitungan sediaan oksigen untuk ikan budidaya di Danau Teluk

Penalaran dan perhitungan	
Volume zona I adalah 323.832 m ³ ,	
- Bagian dari volume tersebut, karena keadaan fisiknya yang cukup dangkal maka yang memungkinkan untuk budidaya ikan dalam karamba maksimum 20%.	
- Oksigen terlarut yang tersedia di perairan bagi ikan budidaya = (0,2 X 323.832) x 1000 x 4 mg = 259.066.224 mg.	
- Seperti sudah diketahui bersama, oksigen yang ada di perairan diperlukan untuk menjalankan berbagai proses biogeokimia yang ada di sistem tersebut sehingga diperkirakan yang tersedia untuk proses respirasi ikan maksimum hanya 10 % (Hartoto, 1997) dan oksigen terlarut yang tersedia adalah selalu sama setiap waktu yaitu rata-rata 4 mg/l.	
-Jadi oksigen yang tersedia untuk ikan secara keseluruhan adalah: 0,1 X 259.066.224 mg= 25.906.622 mg.	
- Dari data jumlah oksigen yang tersedia dan dugaan konsumsi O ₂ maks. per ikan/jam untuk ikan ukuran 1 gram maka dapat dihitung daya tampung ikan di zona I adalah: 25.906.622 mg/ 0,5 mg/ekor x 1 = 51.813.243 ekor	

Tabel 9. Perkiraan jumlah rata-rata individu ikan yang dapat ditampung dalam sangkar terapung di Danau Teluk pada musim kemarau, untuk masing-masing bobot rata-rata

Bobot ikan rata-rata (g)	Jumlah ikan yang potensial dipelihara dalam sangkar terapung (ekor)	Stok ikan yang dapat tertampung setiap saat (dalam kg)
1,0	51.813.245	51.813
5,0	10.362.649	51.813
10,0	5.181.325	51.813
20,0	2.590.662	51.813
50,0	1.036.265	51.813
100,0	518.133	51.813
200,0	259.066	51.813
300,0	172.108	51.813
500,0	103.626	51.813
1.000,0	51.813	51.813
2000,0	25.906	51.813
5,000,0	10.363	51.813

Data yang dikumpulkan saat terakhir di Danau Teluk menunjukkan saat ini terdapat 864 unit karamba apung yang diisi minimum 300 ekor ikan dan maksimum 1000 ekor ikan dengan bobot rata-rata saat panen 500 g. Tingkat penebaran sebesar ini bila diperhitungkan merupakan suatu rencana tingkat produksi yang besarnya; seandainya ikan-ikan tersebut tidak mati; adalah sekitar 864 x 300 x 0.500 kg= 129.600 kg atau 864 x 1000 x 0,500

dukung perairan tersebut. Apa-lagi lokasi pemasangan karamba di Danau Teluk adalah di tengah-tengah danau yang perairannya dalam dan seperti sudah dibahas sebelumnya, tempat ini kolom air lapisan dasarnya beracun bahkan konsentrasi oksigennya dalam suatu siklus diurnal (24 jam) juga tidak mencukupi untuk kebutuhan ikan.

Daya dukung yang terlampaui menyebabkan terjadinya input bahan organik sisa pakan yang berlebihan sehingga menimbulkan kerusakan perairan. Penurunan kualitas air Danau Teluk menghasilkan respons balik yang muncul dalam bentuk kematian masal ikan. Bila disimak dengan lebih cermat, suatu usaha budidaya ikan dengan pemberian pakan tambahan ikan tidak pernah 100 % efektif mengkonversi pakan yang diberikan menjadi daging ikan. Rasio konversi pakan dalam usaha budidaya ikan pada umumnya berkisar antara 1.2-1.7. Ini berarti untuk setiap penambahan bobot ikan sebesar 1 kilogram, minimal ada 0.2 sampai 0.7 kilogram pakan yang terbuang ke dasar perairan dan menjadi semacam "pencemar". Pencemar ini harus diproses secara mikrobiologis alamiah dengan sempurna agar tidak menghasilkan senyawa-senyawa beracun. Untuk itu biasanya diperlukan oksigen yang cukup. Keadaan di Danau Teluk menunjukkan bahwa jumlah sangkar terapung terus meningkat dari tahun ke tahun tetapi disertai dengan meningkatnya kematian ikan (lihat Tabel 10).

Tabel 10. Catatan mengenai kematian ikan di Danau Teluk pada tahun-tahun sebelumnya

Tahun	Jumlah sangkar (unit)	Bulan, jenis ikan dan taksiran bobot ikan yang mati
1986	28	Tidak tercatat ada kematian masal yang mencolok
1987	28	Tidak tercatat ada kematian masal yang mencolok
1988	68	Tidak tercatat ada kematian masal yang mencolok
1989	83	Tidak tercatat ada kematian masal ikan yang mencolok
1990	132	Juni, Jelawat (<i>Leptobarbus hoeveni</i>), dan Ringo (<i>Thinnichthys thinoidea</i>), (90 kg)
1991	191	Tidak tercatat ada kematian masal ikan yang mencolok
1992	269	Tidak tercatat ada kematian masal ikan yang mencolok
1993	249	Agustus, Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>), Ringo, Mas (<i>Cyprinus carpio</i>) (870 kg)
1994	442	Februari dan Juni, Nila dan Ringo (500 kg), Mas (500 kg)
1995	779	Agustus, Nila, Ringo, Mas (1800 kg)
1996	815	Juni, Nila, Ringo, Baung (<i>Myxus nemurus</i>), Betutu (<i>Oxyletrichthys marmorata</i>)
1997	864	

Daya dukung yang dihitung diatas adalah daya dukung yang diduga berdasarkan data yang diperoleh pada saat ekstrim di musim kemarau. Pada musim kemarau inilah daya dukung Danau Teluk berada pada tingkat terendah. Untuk melengkapinya perlu dilakukan pengambilan data yang sama intensifnya pada musim hujan untuk menghitung daya dukungnya di musim hujan.

4.4. Pengkajian alternatif pemulihan daya dukung Danau Teluk

Dari pembahasan sebelumnya dapat disimak bahwa daya dukung Danau Teluk untuk budidaya air telah terlampaui sehingga menyebabkan penurunan kualitas air, khususnya rendahnya oksigen, yang diikuti selanjutnya dengan terbentuknya zat beracun di kolom air sebelah bawah. Berkaitan dengan itu, maka alternatif pemulihan daya dukung Danau Teluk lebih dipusatkan untuk memulihkan kualitas air dengan pendekatan manusia berperan membantu proses pemurnian alamiah yang masih tersisa. Sasaran tersebut diharapkan dapat dicapai dengan memasukkan udara yang membawa oksigen ke dasar perairan sehingga konsentrasi oksigen terlarut di kolom air sebelah bawah dapat meningkat. Alternatif teknologinya yang dapat digunakan dijelaskan secara singkat seperti berikut.

4.4.1. Penggunaan Reaktor Injeksi Seri LIMNOTEK 3.1

Reaktor Injeksi Seri LIMNOTEK 3.1 telah dikembangkan oleh Puslitbang Limnologi-LIPI antara tahun 1987-1991. Disain dasar, unjuk kerja di perairandanau kecil, Situ Bojongsari, Bogor telah diteliti oleh sekelompok peneliti, dan terbukti juga mampu meningkatkan produksi sistem budidaya dalam karamba apung (Hartoto & Sulastris (eds), 1990, Hartoto & Fakhrudin 1990; Hartoto, 1993a,b; Sulastris, 1993; Sunanisari, 1993; Tarigan, 1993; Hartoto & Yustiawati, 1995). Secara limnoengineering aerasi ini dikembangkan dengan memanfaatkan efek Venturi pemasukan oksigen dan udara pada suatu kolom air di sebuah tabung. Selanjutnya air yang sudah teraerasi akan mengalir ke kolom air lapisan dasar. Dengan siste

saja, sedangkan kolom air sebelah atas diharapkan masih mendapat pasokan oksigen dari proses fotosintesis dan turbulensi. Prinsip kerja, kapasitas aerasi, dan spesifikasi teknis lain Reaktor Injeksi Seri LIMNOTEK 3.1 disajikan pada Lampiran 8.

Satu unit Reaktor Injeksi LIMNOTEK 3.1. saat ini sudah terpasang di Danau Teluk di depan Stasiun UPPU (Unit Pembinaan Perikanan Perairan Umum) tetapi karena sarana pendukungnya, yaitu pasokan listrik dari PLN belum memenuhi syarat untuk mengoperasikan kompressor, maka Reaktor In-jeksi ini belum dioperasikan secara efektif. Memperhatikan data variasi diurnal konsentrasi Oksigen Terlarut di Danau Teluk, dimana konsentrasi oksigen di lapisan dasar selalu rendah, maka sebenarnya Reaktor Injeksi tersebut harus dioperasikan setiap saat pada musim kemarau. Berdasarkan pengalaman yang ada, Reaktor Injeksi LIMNOTEK 3.1 cocok untuk memulihkan kerusakan per-airan secara perlahan-lahan pada skala agak besar dan dapat membantu mengendalikan kualitas air pada sekelompok sangkar terapung yang di letakkan

Tabel 11. Aneka pemanfaatan Danau Teluk dan persyaratan kebutuhan limnologisnya

Pemanfaatan	Persyaratan umum limnologis
Perikanan penangkapan ikan Botia dan Ringgo	Kualitas air harus baik, pertukaran aliran air keluar masuk danau dari S. Batanghari harus sealamiah mungkin, bahkan harus lebih lancar Jangan dibuat halangan dalam bentuk apapun, misalnya pintu air dan sejenisnya
Budidaya air dalam sangkar terapung	Pertukaran air dengan S Batanghari harus baik. Kualitas air harus baik, daya dukung jangan terlampaui, tata letak harus tepat
Lokasi Stasiun Pembenihan UPPU	Kualitas air harus baik
Pemukiman sementara	Kualitas air harus baik, jumlah pemukim harus dikendalikan
Pariwisata	Perairan harus indah, vegetasi tepi harus terjaga, jangan gundul

di sekitar Reaktor Injeksi. Jadi Reaktor Injeksi ini adalah salah cara penanganan kerusakan danau melalui rekayasa di dalam danau. Untuk sebuah danau seperti Danau Teluk

Reaktor Injeksi LIMNOTEK 3.1 nampaknya lebih sesuai dioperasikan oleh instansi pemerintah seperti UPPU, Dinas Perikanan atau instansi lainnya.

4.4.2. Penggunaan sistem aerasi lain (Pra disain seri LIMNOTEK 5.1)

Masih dengan falsafah limnoengineering tropika yang sama dengan LIMNOTEK 3.1, dapat dikembangkan teknik lain pemasukan oksigen ke dalam air. Disini digunakan sebuah pompa terendam (submersible pump) yang pipa aliran keluarannya ("outlet") dihubungkan dengan pipa udara yang ukurannya lebih kecil. Daya dorong air yang keluar melalui pipa outlet akan menarik udara yang membawa oksigen. Pompa terendam ini harus dipasang di dasar dan yang diaerasi adalah kolom air lapisan dasar saja seperti halnya LIMNOTEK 3.1. Sistem ini masih dalam taraf Pra Rancangan Limnoengineering (Lampiran 9), meskipun prinsip dasarnya sudah pernah dicoba di laboratorium tetapi belum pernah diteliti unjuk kerjanya di lapangan. Sistem aerasi ini nampak cukup sesuai untuk dioperasikan oleh petani ikan yang mempunyai beberapa unit karamba

4.5. ALTERNATIF TATA GUNA DANAU TELUK BERDASAR LIMNOLOGIS

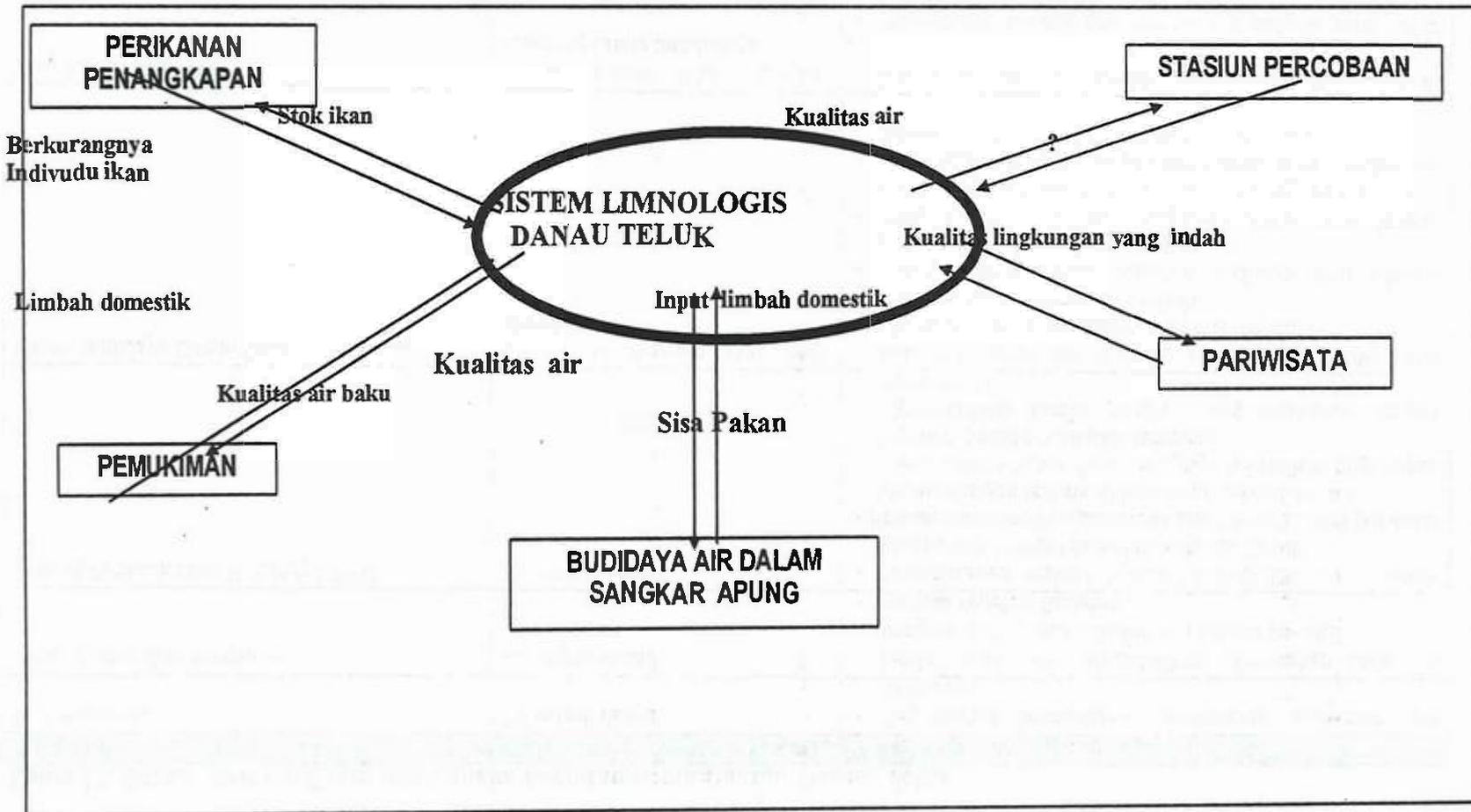
4.5.1. Aneka pemanfaatan Danau Teluk

Seperti yang dikemukakan pada Bab 1, Danau Teluk secara historis telah dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan manusia. Masing-masing kebutuhan membutuhkan persyaratan sifat limnologis tertentu dari Danau Teluk. Aneka kegunaan dan persyaratan kebutuhan limnologis tersebut disajikan pada Tabel 11. Pada Tabel 11 terlihat bahwa kebutuhan limnologis aneka pemanfaatan Danau Teluk cukup beragam dan saling terkait dan masing-masing dapat menghasilkan dampak yang saling merugikan bila tidak ditata dengan baik. Akibatnya sudah dirasakan oleh nelayan Danau Teluk d tahun 1997 yaitu berupa kematian masal ikan sampai mencapai 22 ton akibat kualitas air yang buruk. Interrelasi aneka pemanfaatan danau terhadap

Gambar 9 dapat disimak jelas Danau Teluk harus di tata guna secara lebih cermat.

4.5.2. Alternatif Tata Guna Danau Teluk

Mempertimbangkan fakta limnologis yang terkumpul dan pemanfaatan Danau Teluk saat ini, dapat dikemukakan bahwa kelima pemanfaatan masih dapat dipertahankan tetapi tata letaknya dan intensitasnya harus diatur. Saran alternatif tata letak aneka kegiatan pemanfaatan Danau Teluk disajikan pada Tabel 12. Dari saran-saran yang dikemukakan pada tabel tersebut tersirat masih ada beberapa studi dan pengkajian aspek ilmiah-teknis pelengkap untuk mewujudkan per-ubahan tata letak tersebut di lapangan. Penyuluhan sebagai suatu aktivitas penerapan di tingkat operasional gagasan pengaturan kembali tata letak Danau Teluk perlu segera dilakukan untuk menghindarkan keresahan petani ikan yang ada di Danau Teluk. Perlu dicatat disini bahwa pemantauan berkala serta analisis data yang menerus adalah kunci untuk mengembangkan sistem peringatan dini untuk menghindarkan terjadinya kematian masal ikan secara mendadak. Untuk pengembangan sistem peringatan dini ini diperlukan studi limnologis yang lebih lengkap.



Gambar 9. Aneka interaksi pemanfaatan oleh manusia dengan sistem limnologis Danau Teluk

Tabel 12. Saran alternatif tata letak aneka kegiatan pemanfaatan Danau Teluk

Pemanfaatan	Posisi	Tindakan penyesuaian yang disarankan
Pariwisata Alam	Di tengah danau	<ul style="list-style-type: none"> - Kegiatannya berwisatanya memancing, berperahu dan sebagainya
Penangkapan ikan dengan anco	Di tengah danau	<ul style="list-style-type: none"> - Jumlah anco harus dikendalikan, dikeluarkan surat ijin mengoperasikan anco, dilakukan estimasi po-tensi - Penataan vegetasi Riparian
Stasiun Perikanan dan Hatchery UPPU	Di tempat semula	<ul style="list-style-type: none"> - Pengoperasian reaktor injeksi LIMNOTEK 3.1 untuk mempercepat proses pemulihan Danau Te-luk - Pemantauan beberapa parameter kualitas air se-cara ber-kala: khusus oksigen terlarut di lapisan air sebelah bawah - Memberikan teladan dalam menjaga kebersihan lingkungan kegiatan budidaya sangkar terapung - Menyesuaikan jumlah sangkar yang digunakan dengan sistem kuota
Usaha Budidaya Dalam Sangkar Terapung	Digeser ke perairan yang lebih dangkal	<ul style="list-style-type: none"> - Jumlah karamba dan estimasi produksi yang ada harus dikurangi sampai mendekati daya dukung danau - Padat penebaran harus disesuaikan - Dikembangkan sistem perijinan budidaya ikan sebagai sarana pengendalian kuota produksi - Perlu dipikirkan uji coba penggunaan sistem aerasi dengan pompa terendam untuk unit sangkar terapung milik rakyat - Perlu juga dilakukan pengkajian kemungkinan usaha bu-didaya yang hanya dilakukan di musim hujan saja.
Pemukiman Sementara	Sesuai dengan lokasi sangkar terapung yang dimilikinya	<ul style="list-style-type: none"> - Dicatat dengan teliti jumlah manusia yang bermukim di Danau - Penyuluhan tentang cara membuang sampah yang benar bagi orang yang mukim di danau

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari fakta-fakta yang terkumpul dan sudah dibahas sebelumnya ada beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menjaga kelangsungan proses biogeokimia yang wajar dibutuhkan konsentrasi oksigen yang selalu > 4 mg/l.
2. Danau Teluk di musim kemarau menunjukkan ciri sebuah danau yang tidak mengalami stratifikasi suhu dan mudah sekali teraduk.
3. Kandungan oksigen terlarut di kolom dasar Danau Teluk pada umumnya sangat rendah, terutama di bagian perairan yang lebih dalam dari 1,5 m, bahkan dalam satu siklus diurnal seringkali konsentrasi oksigen terlarut di kolom air permukaan juga sangat rendah (< 4 mg/l).
4. Konsentrasi oksigen terlarut yang rendah di bagian yang kedalamannya $> 1,5$ m telah menyebabkan terjadinya akumulasi zat-zat beracun di Danau Teluk.
5. Danau Teluk setiap hari hanya mampu mendukung stok ikan yang berada dalam karamba sebesar 50 ton saja.
6. Saat ini, jumlah karamba dan sistem budidaya dalam sangkar terapung yang di-praktekkan di Danau Teluk adalah untuk suatu target produksi yang didasarkan pada anggapan bahwa Danau Teluk setiap saat mampu menampung ikan yang jumlahnya antara 120-430 ton.
7. Sisa-sisa pakan yang diberikan untuk usaha budidaya dalam sangkar terapung telah menyebabkan terjadinya penumpukan zat sisa-sisa proses biogeokimia yang tak sempurna sehingga zat beracun terakumulasi di kolom air sebelah bawah dan di sedimen.
8. Daya dukung Danau Teluk jelas sudah dilampaui sehingga telah menimbulkan kematian masal ikan.
9. Danau Teluk saat ini masih dapat dipertahankan untuk kegiatan-kegiatan perikanan penangkapan, perikanan budidaya dalam sangkar terapung pemukiman sementara, pariwisata dan lokasi Stasiun Pembenihan UPPI

5.2. Saran

Untuk mengatasi kemungkinan terjadinya lagi kematian masal ikan, dari studi ini telah dirumuskan beberapa hal yang dapat dilakukan di Danau Teluk antara lain:

1. Lokasi aneka pemanfaatan Danau Teluk perlu disesuaikan tata letaknya, khusus untuk lokasi budidaya air disarankan dipindahkan ke bagian danau yang lebih dangkal.
2. Jumlah unit sangkar terapung dan sasaran produksi ikan perlu disesuaikan dengan daya dukung Danau Teluk di musim kemarau
3. Daya dukung Danau Teluk dapat ditingkatkan dengan penerapan teknik-teknik aerasi "hipolimnion" dengan Reaktor Injeksi Seri LIMNOTEK 3.1.
4. Perlu dikembangkan sistem peringatan dini untuk menghindarkan terjadinya bencana kematian massal ikan secara mendadak.

REFERENSI

- Abel, P.D. 1989. *Water Pollution Biology*. Ellis Horwood Limited, Great Brittain. 231 hal.
- Adiwarna 1991 Effect on ammonia and total organic matter in water column and sediment In: *Preliminary Ecological Response of Lake Bojongsari to Aeration with Limnotek 3.0*:23-28
- Anonymous.1975. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 12th. Edition. APHA-AWWA-WPCF, New York. 769 hal.
- Anonymous. 1988. Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : Kep-02/MEN-KLH/ II/1980 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. 50 hal.
- Boyd, C.E. 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. Birmingham Publishing Co. Alabama.482 hal.
- Goldman C.R, and A.J, Horne.1983. *Limnology*. McGraw Hill International Book Company. 461 hal

- Gorham P.R dan W Carmichael. 1980. Toxic substances from freshwater algae
In: *Progress in Water Technology*. Vol.12, No 2: 189-198.
- Hartoto, D.I. & M. Fakhrudin. 1990. Description of study site and injection reactor
LIMNOTEK 3.0. In: *Preliminary Ecological Response of Lake Bojongsari to
Aeration With LIMNOTEK 3.0*, Research and Development Centre for
Limnology, Indonesian Institute for Sciences.: 7-13.
- Hartoto, D.I. 1990. Response of sediment orthophosphate and nitrate. In: *Preliminary
Ecological Response of Lake Bojongsari to Aeration With LIMNOTEK 3.0*,
Research and Development Centre for Limnology, Indonesian Institute for
Sciences.: 14-22.
- Hartoto, D.I. R. Wuryanto dan Y. Mardiaty. 1989. Nitrite and orthophosphate
in water column and sediment In: *Ecology of a Small Tropical Lake,
Bojongsari Bogor, West Java*). Indonesia-MAB Programme. RDCL
Indonesian Institute of Sciences: 26-48.
- Hartoto, D.I. dan H. Lubis. 1989b. 6. Pendugaan distribusi dan pemuatan
ortofosfat. Dalam: *Limnologi Situ Bojongsari*, oleh A. Nontji dan D.I.Hartoto.
(Eds) Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi, LIPI: 59-72.
- Hartoto, D.I. 1993. Experimental aeration of Lake Bojongsari with LIMNOTEK 3.1..
Limnotek, Vol 1 No 1:21-32.
- Hartoto, D.I. 1993. Experimental aeration of Lake Bojongsari with LIMNOTEK
3.1.Impacts to Dissolved Oxygen Level. *Limnotek*, Vol 1 No 1:33-38.
- Hartoto, D.I. dan Sulastri (Eds).1990. *Preliminary Ecological Response of La
ke Bojongsari to Aeration With LIMNOTEK 3.0*. Research and Developmen
Centre for Limnology, Indonesian Institute for Sciences. 66 hal
- Hartoto, D.I. 1997. Notes on Limnological condition of Lake Loa Kang as fisher
reserve and its potential as food supply habitat for Mahakam freshwater
dolphin. In: *Rehabilitasi Lingkungan Perairan Danau Semayang, Kalimantan
Timur*. Oleh, Tim peneliti (eds). Puslitbang Ekonomi dan Pembanguna
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia:63-86.
- Hartoto, D.I., Yustiawati & S. Nomosatryo. In publication. Physical limnolo
characteristics of two tropical oxbow lakes in Jambi. In publication
.. *Chemical Characteristics of Natu*

- and processes that control the composition of natural water with methods for studying and interpreting chemical analysis. US. Government Printing Office, Washington. 363 hal.
- Jorgensen. S.E. dan R.A. Vollenweider. 1989. *Guide Lines of Lake Management*. International Lake Environmental Committee. UNEP. 191 hal.
- Jorgensen S.E. 1980. *Lake Management*. Pergammon Press. 16 hal.
- Kabata, Z. 1985. *Parasites and diseases of fish cultured in the tropics*. Taylor & Francis Ltd. Great Brittain. 318 hal.
- Lander, L. 1976. *Eutrophication of Lake*. WHO Regional Office, Great Brittain 16 hal.
- Mardjuki. A., Banarto dan Dumaeri. 1973. *Influence of water hyacinths (Eichhornia crassipes)) on evapotranspiration*. 2nd Indonesian Weed Science. Conf. Yogyakarta.
- Meutia, A.A. dan D.I, Hartoto, 1990. Changes in nitrification and denitrification processes. In: *Preliminary Ecological Response of Lake Bojongsari to Aeration With LIMNOTEK 3.0*, Research and Development Centre for Limnology, Indonesian Institute for Sciences.:47-52
- Rheinheimer, G. 191985. *Aquatic microbiology*. John Wiley & Sons., VEB Gustav Fischer Verlag. German Democratic Republic. 257 hal.
- Sek Men KLH, 1990. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air. Sekretariat menteri Negara kpendudukan dan lingkungan Hidup. 55 hal.
- Sunanisari, S. 1995. Experimental aeration with LIMNOTEK 3.1. Impact on Total Organic Matter and Ammonia, *Limnotek*, Vol 1, Nomor 1: 47-52.
- Tarigan, T. 1993. Experimental aeration with LIMNOTEK 3.1. Impact on pH and CO₂ in water column and sediment. *Limnotek*, Vol 1, Nomor 1: 53-58.
- Uhlman, D. 1975. *Hydrobiology. A text for engineers and scientist*. John wiley & Sons. VEB gustav Fischer Verlag, printed in German Democratic Republic. 313 hal.
- Vollenweider, R.A. dan J. Kerekes. 1980. The Loading concepts as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. *Progress on Water Technology*, Vol 12. No 2: 5-38

Welch, E.B. 1980. *Ecological Effects of Wastewater*. Cambridge University, Press, London, 35 hal.

Widyanto, L.S. 1975. Study on the growth of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mark), Solms). *Proceeding of Asian Pacific Weed Science Fifth Conference*. 43

Lampiran 1. Data hasil necropsy terhadap ikan yang sakit di Danau Teluk

Lokasi : Danau Teluk

Tanggal : 22 Agustus 1997

Langkah	Hasil
1. Ikan diamati dari luar, dan mulai dari jaringan paling luar (kulit, sisik, arus, mata, dan hidung). Posisi ikan adalah kepala disebelah kiri	• Tidak ada kelainan dan tidak ada parasit
2. Operkulum bagian <u>kiri</u> dipotong, tampak bagian insang. Kemudian insang disimpan di air dan kemungkinan adanya parasit diamati dengan mikroskop.	• Tidak ada parasit, tetapi warna sedikit lebih pucat dari yang sehat
3. Insang pertama bagian kiri dipotong dari ventral ke dorsal. Karena tidak ada mikroskop binokuler, maka insang dicuci dengan aqua, dan air bilasan dilihat dibawah mikroskop.	• Tidak ada parasit
4. Langkah 1,2,3 diulang pada operkulum lainnya (kanan) dengan membalikkan posisi ikan terlebih dahulu.	• Tidak ada parasit
5. Ikan dibalik ke posisi 1, yaitu operkulum kiri berada dihadapan kita. Bagian mulut diamati dengan menekan rahang bawah dengan forceps.	• Tidak ada kelainan
6. Melakukan pembedahan visceral Cavity.	• Usus dan hati tampak membengkak

Kesimpulan dari pengamatan:

Teramati adanya perbedaan yang jelas antara hati dan usus ikan yang sehat dengan ikan yang sakit hampir mati

Lampiran 2. Data Fisikokimia hasil pengukuran langsung di Danau Teluk (22-23 Agustus 1997)

No	Kode	Posisi GPS	Kedalaman Maks. (meter)	Kedalaman (meter)	pH	Kond. mS/cm	Turb. NTU	DO mg/l	Suhu Air °C	Suhu Udara °C									
1	1	S: 1°34.780'	0	0	7,33	0,072	85	8,23	31,6	29,7									
2		E: 103°36.929'																	
3	2	S: 1°24.878'	2	0	7,3	0,072	31	10,43	30,8	27,9									
4		E: 103°25.988'									0,5	7,2	0,071	28	7,73	30,1			
5											1	6,73	0,071	20	3,57	29,1			
6											1,5	6,31	0,072	21	1,81	28,9			
7											2	6,18	0,072	50	1,41	28,9			
8		3									S: 01°34.791'	3	0	7,16	0,071	22	9,56	30,3	31,9
9											E: 103°36.997'								
10			1	6,77	0,071	15	4,42	29,1											
11			1,5	6,61	0,071	15	3,36	29											
12			2	6,45	0,071	16	1,9	28,9											
13			2,5	6,38	0,072	18	0,44	28,9											
14			3	6,24	0,086	15	0	28,8											
15	4	S: 01°34.743'	3,5	0	7,48	0,071	18	8,44	30,4	28,1									
16		E: 103°36.041'									0,5	7,2	0,071	16	5,33	29,5			
17											1	6,86	0,071	16	4,65	29,2			
18											1,5	6,71	0,071	15	3,21	29			
19											2	6,64	0,071	14	2,8	28,9			
20											2,5	6,52	0,071	15	1,69	28,9			
21											3	6,41	0,072	18	0,28	28,8			
22											3,5	6,31	0,082	27	0	28,7			
23		5									S: 01° 34.719'	3,5	0	8,3	0,072	21	11,47	30,9	29,7
24											E: 103°36.096'								
25			1	7,23	0,071	21	7,62	29,3											
26			1,5	6,82	0,071	19	3,61	29											
27			2	6,68	0,071	20	3	28,9											
28			2,5	6,58	0,071	27	2,04	28,9											
29			3	6,34	0,073	31	0,37	28,8											
30			3,5	6,27	0,077	34	0,03	28,8											
31	6		S: 01°34.681'	0,5	0	8,11	0,071	21	10,13	31	26,5								
32			E: 103°36.066'																
33	7	S: 01°34.569'	0,5	0	8,07	0,07	42	10,27	30,6	27									
34		E: 103°36.026'									0,5	7,84	0,07	62	10,06	30,6			
35	8	S: 01°34.650'	5	0	8,26	0,071	17	10,62	30,2	28,1									
36		E: 103°35.990'									0,5	8,16	0,071	17	10,29	30,2			
37											1	7,2	0,071	17	6,67	29,4			
38											1,5	6,85	0,071	17	4,66	29,1			

Sambungan Lampiran 2.

No	Kode	Posisi GPS	Kedalaman maks (meter)	Kedalaman (meter)	pH	Cond. mS/cm	Turb NTU	DO mg/l	Suhu Air °C	Suhu Udara °C
39				2	6,65	0,071	19	2,77	28,9	
40				2,5	6,45	0,071	19	0,76	28,9	
41				3	6,34	0,073	22	1,24	28,7	
42				3,5	6,19	0,086	26	0	28,6	
43				4	6,16	0,136	13	0	28,6	
44				4,5	6,26	0,324	10	0	28,2	
45				5	6,33	0,402	14	0	28,1	
46	9	S: 01°34.729'	6	0	7,5	0,071	16	7,54	29,6	24,6
47		E: 103°35.959'		0,5	7,05	0,071	17	7,18	29,6	
48				1	6,89	0,071	19	4,84	29,2	
49				1,5	6,82	0,071	20	4,78	29,1	
50				2	6,69	0,071	22	2,43	28,9	
51				2,5	6,46	0,075	29	0,09	28,8	
52				3	6,42	0,082	19	0	28,7	
53				3,5	6,36	0,097	14	0	28,6	
54				4	6,34	0,159	11	0	28,4	
55				4,5	6,37	0,267	10	0	28,2	
56				5	6,43	0,329	11	0	28,1	
57				5,5	6,48	0,383	13	0	28	
58				6	6,5	0,438	29,6	0	28	
59	UPPU	S: 01°34.780'	1,5	0	6,89	0,072	24	6,37	29,3	
60		E: 103°36.929'		0,5	6,97	0,065	21	5,92	29,2	
61				1	6,56	0,073	18	2,46	28,9	
62				1,5	6,38	0,074	20	1,3	28,9	
63	10	S: 01°34.579'	0	0	7,28	0,071	22	3,11	29,5	28,1
		E: 103°35.866'								
64	11	S: 01°34.727'	4	0	7,09	0,071	25	4,77	29,1	25,7
65		E: 103°35.887'		0,5	6,97	0,071	23	4,18	29	
66				1	6,9	0,071	20	3,29	28,8	
67				1,5	6,88	0,071	17	3,36	28,7	
68				2	6,82	0,072	19	3,68	28,7	
69				2,5	6,78	0,072	20	3,59	28,7	
70				3	6,73	0,073	22	3,41	28,7	
71				3,5	6,72	0,073	22	3,41	28,7	
72				4	6,75	0,075	25	2,25	28,7	
73	12	S: 01°34.693	6	0	6,89	0,071	22	4,56	29	28
74		E: 103°35.922'		0,5	6,96	0,071	21	4,13	29	
75				1	6,95	0,071	21	4,03	29	
76				1,5	6,92	0,072	21	2,67	29	

Sambungan Lampiran 2

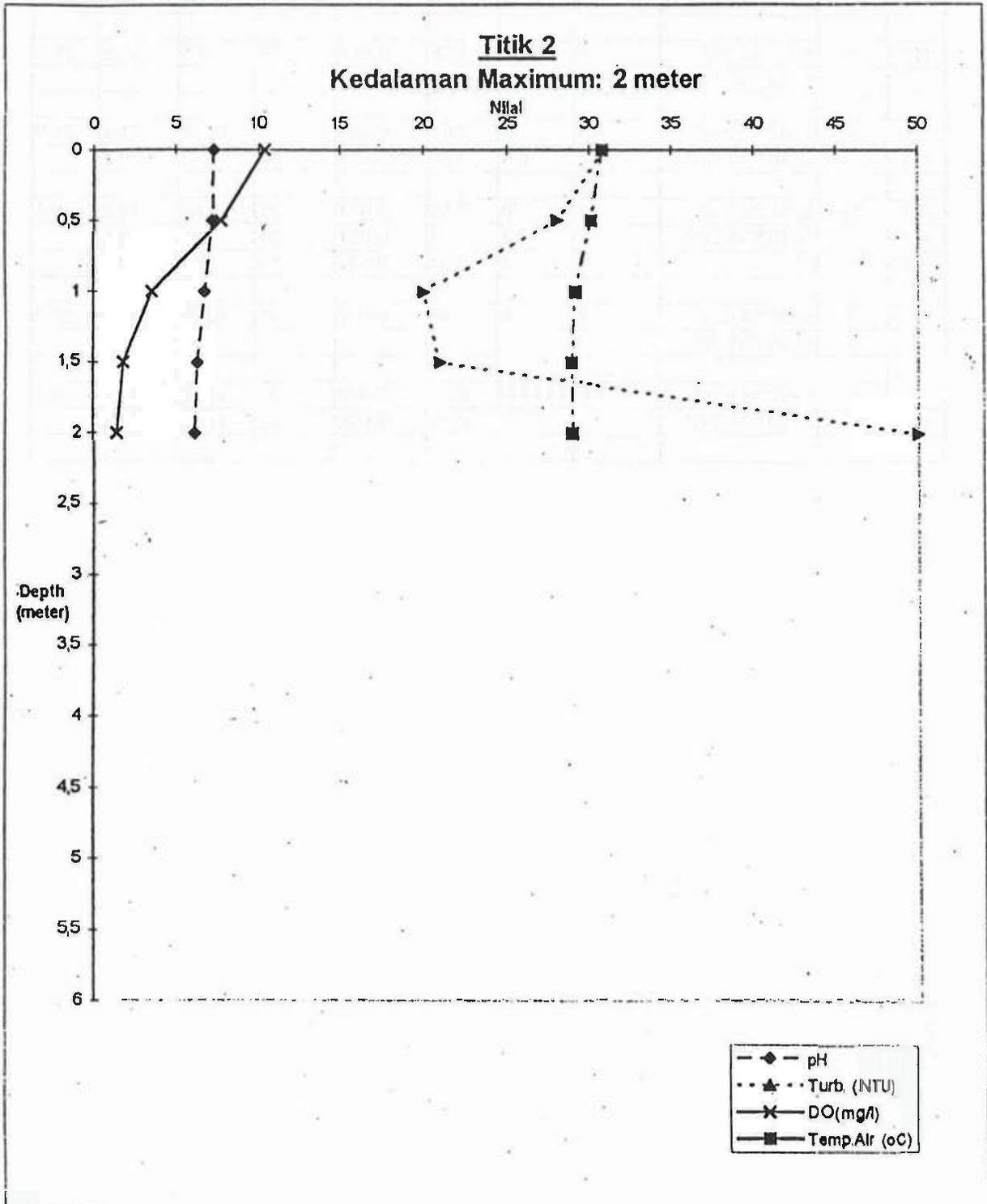
No.	Kode	Posisi GPS	Kedalaman maks. (meter)	Kedalaman (meter)	pH	Kond. mS/cm	Turb. NTU	DO mg/l	Suhu air °C	Suhu udara °C
77				2	6,8	0,072	22	1,43	28,8	
78				2,5	6,62	0,074	27	1,3	28,7	
79				3	6,57	0,075	28	0,84	28,7	
80				3,5	6,59	0,084	30	3,13	28,4	
81				4	6,55	0,103	26	1,38	28,4	
82				4,5	6,55	0,235	11	0	28,2	
83				5	6,61	0,336	12	0	28,1	
84				5,5	6,64	0,378	13	0	28,1	
85				6	6,68	0,43	15	0	28	
86	13	S: 01°34.655'	4,5	0	7,19	0,071	25	6,99	29,1	27,5
87		E: 103°35.952'		0,5	7,24	0,071	25	7,14	29,1	
88				1	7,17	0,071	25	5,17	29	
89				1,5	7,1	0,071	22	5,52	29	
90				2	7,02	0,071	22	5,27	29	
91				2,5	6,91	0,071	23	3,22	28,8	
92				3	6,56	0,083	23	0,15	28,7	
93				3,5	6,43	0,118	11	0	28,5	
94				4	6,46	0,152	12	0	28,4	
95				4,5	6,52	0,196	10	0	28,4	
96	14	S: 01°34.548'	0	0	7,36	0,07	42	8,15	30,2	28,5
		E: 103°35.960'								
97	15	S: 01°34.554'	0,5	0	8,2	0,07	26	11,05	31,5	33,6
98		E: 103°35.502'		0,5	7,92	0,071	35	10,29	30,6	
99	16	S: 01°34.611'	3	0	7,91	0,071	25	9,78	30,3	31,7
100		E: 103°35.744'		0,5	8,2	0,071	28,5	10,43	29,8	
101				1	7,23	0,071	23	8,07	29,6	
102				1,5	6,92	0,072	35	3,24	29	
103				2	6,64	0,074	29	4,18	28,9	
104				2,5	6,41	0,072	43	2,95	28,9	
105				3	6,64	0,082	36	3	28,9	
106	17	S: 01°34.680'	2,5	0	8,39	0,071	26	11,54	30,7	25,6
107		E: 103°35.752'		0,5	8,29	0,071	41	10,89	30	
108				1	7,43	0,071	27	8,05	29,4	
109				1,5	7,05	0,071	25	5,84	29,2	
110				2	7	0,071	34	5,78	29	
111				2,5	6,83	0,088	86	3,63	28,9	

Samlungan Lampiran 2.

No	Kode	Posisi GPS	Kedalaman maks. meter	Kedalaman meter	pH	Cond. mS/cm	Turb. NTU	DO mg/l	Suhu Air °C	Suhu Udara °C
112	18	S: 01°34.756'	1	0	7,79	0,069	27	10,04	31,2	26,3
113		E: 103°35.738'		0,5	7,58	0,07	37	8,92	29,7	
114				1	7,38	0,07	31	8,09	29,6	
115	19	S: 01°34.780'	0	0	7,78	0,068	79	10,5	31,5	29,9
		E: 103°35.743'								
116	20	S: 01°34.852'	0,5	0	8,01	0,069	26	10,39	31,4	28,9
117		E: 103°35.743'		0,5	7,39	0,07	31	7,92	30,2	
118	21	S: 01°34.703'	1	0	7,52	0,071	21	10,66	31,2	26,4
119		E: 103°35.715'		0,5	5,5	0,071	31	9,01	30,6	
120				1	7,04	0,071	59	5,91	29,7	
121	22	S: 01°34.618'	0	0	7,96	0,068	37	10,89	31,9	27,7
		E: 103°35.701'								
122	23	S: 01°34.631'	0,5	0	8,14	0,070	22	11,28	31,1	30,4
123		E: 103°35.731'		0,5	8,33	0,070	22	11,03	31,1	

Lampiran 3a

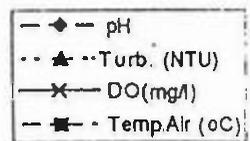
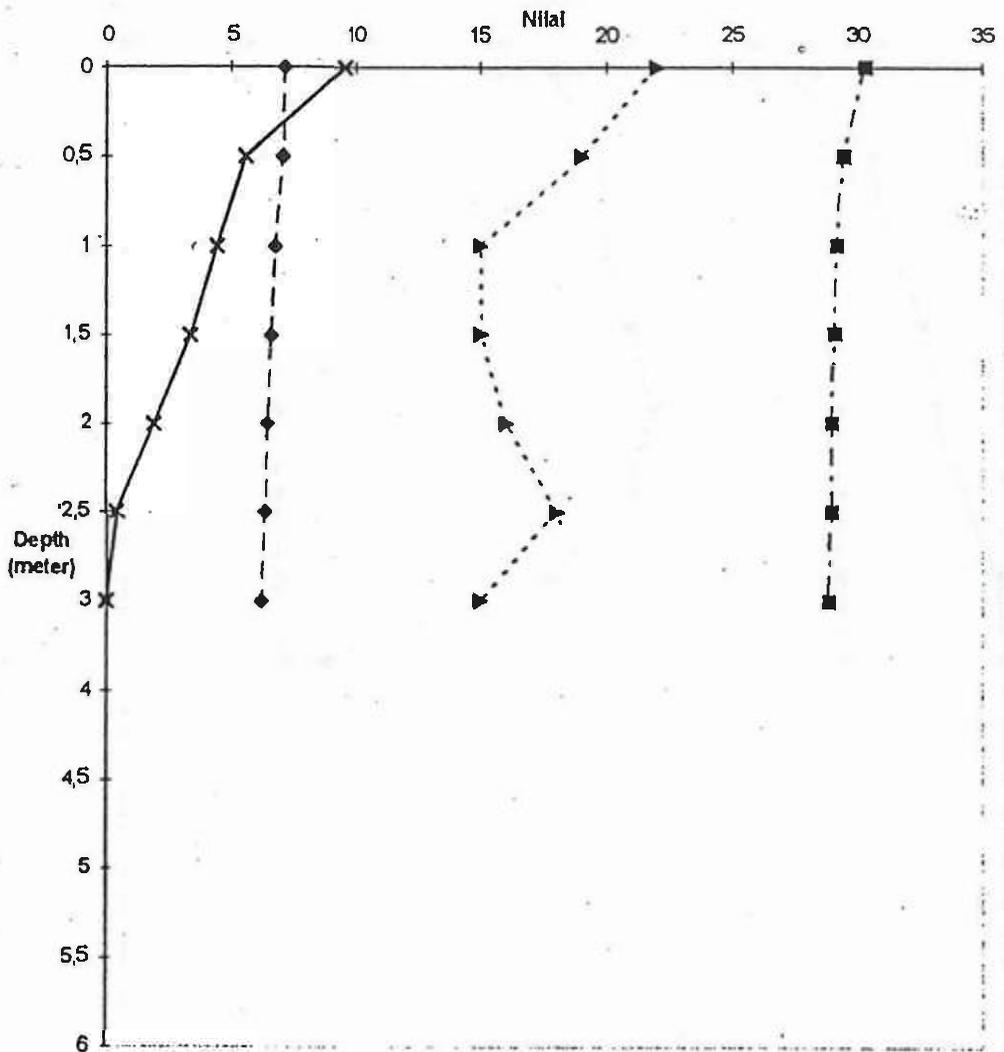
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK



Lampiran 3b

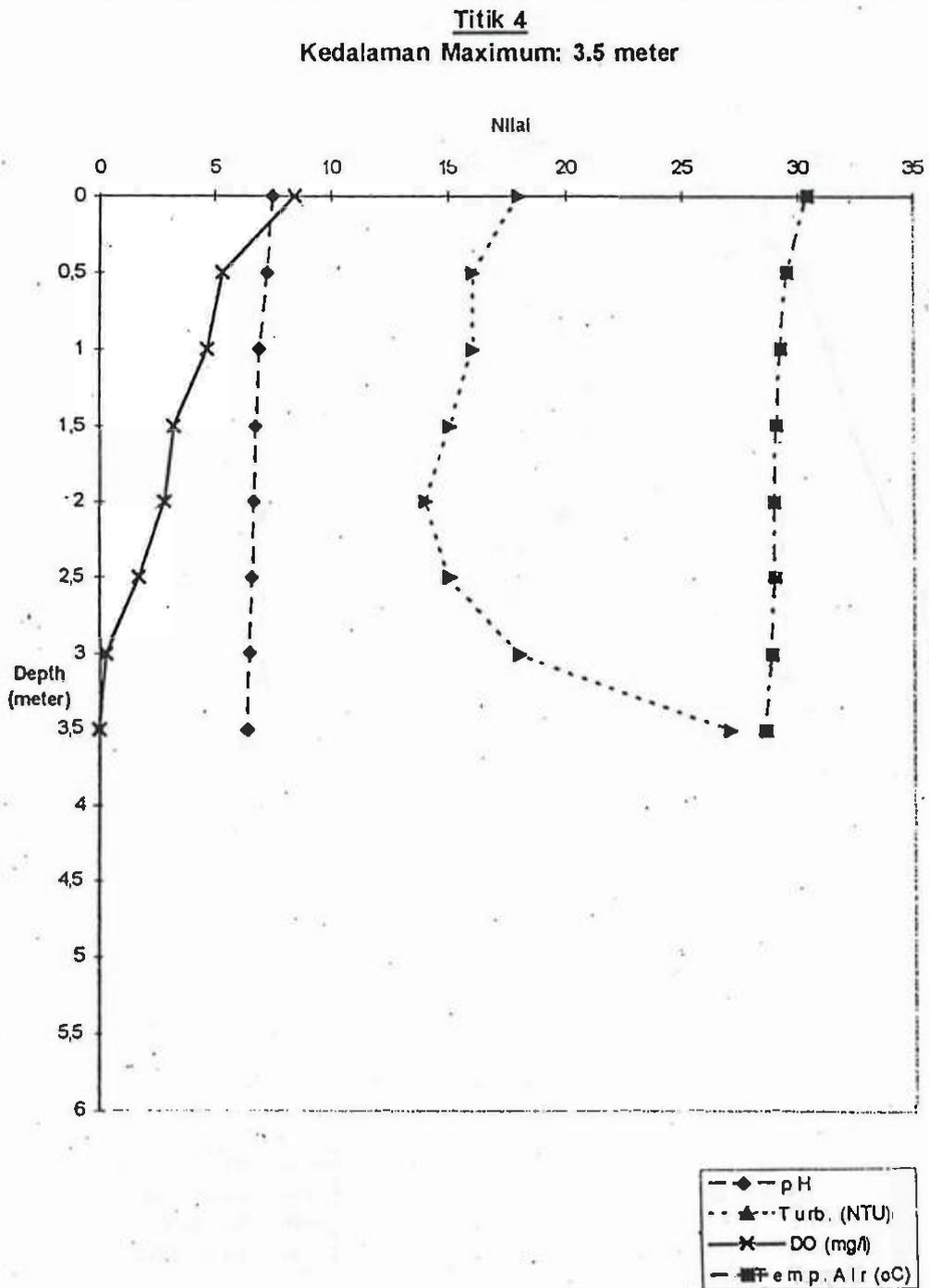
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK

Titik 3
Kedalaman Maximum: 3 meter



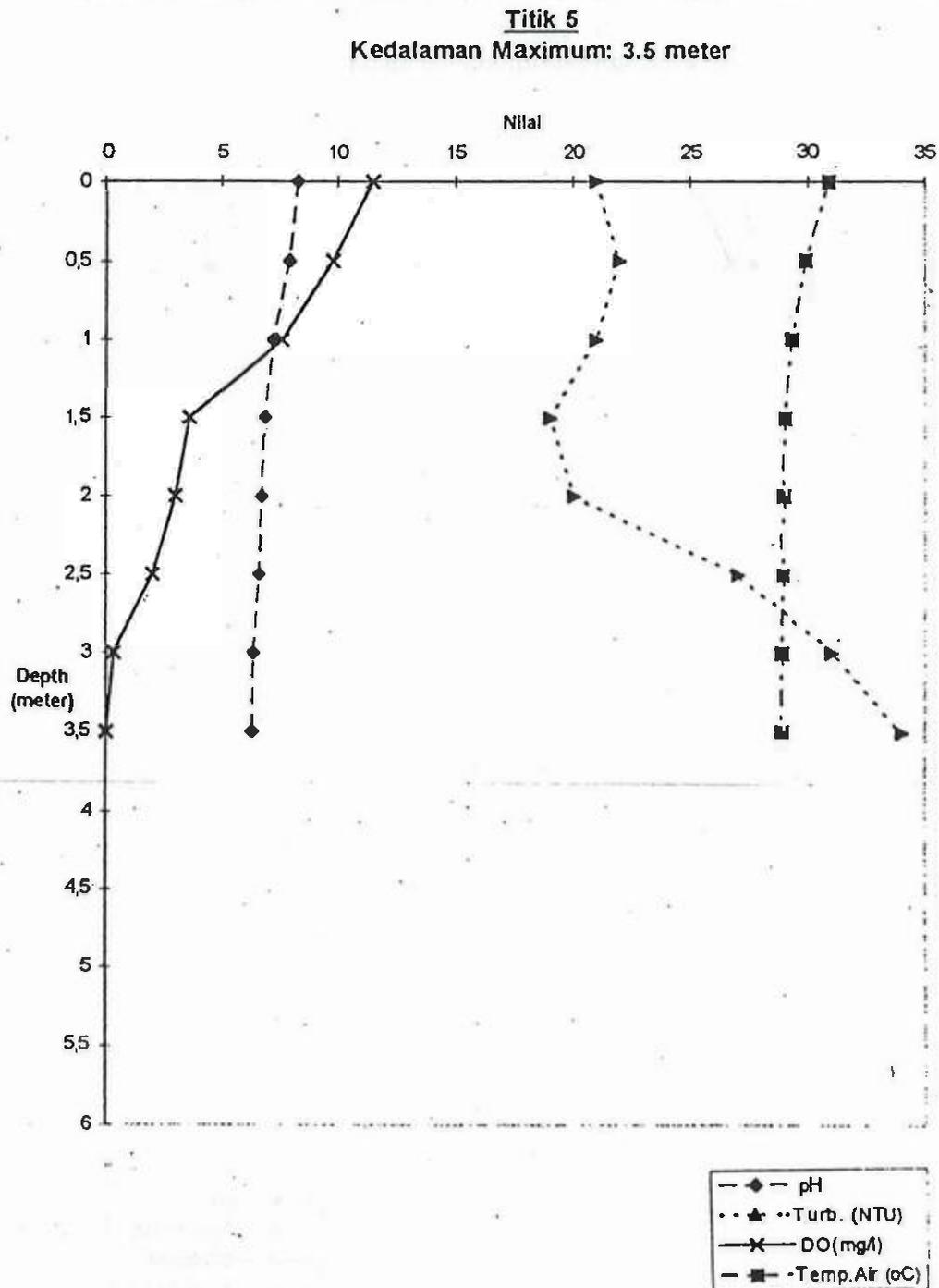
Lampiran 3c

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK



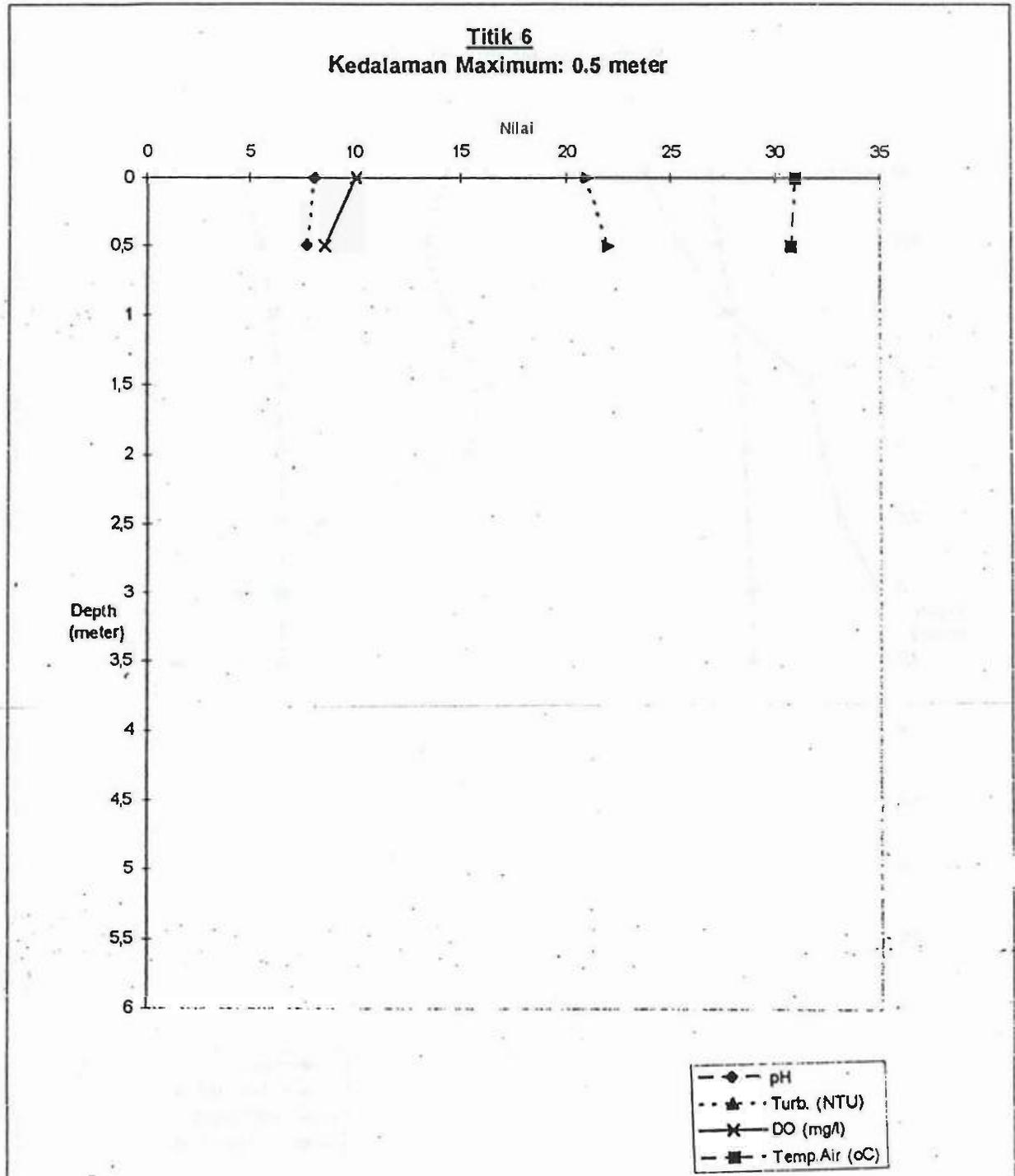
Lampiran 3d

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK



Lampiran 3e

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK

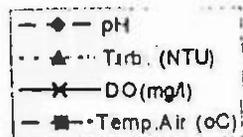
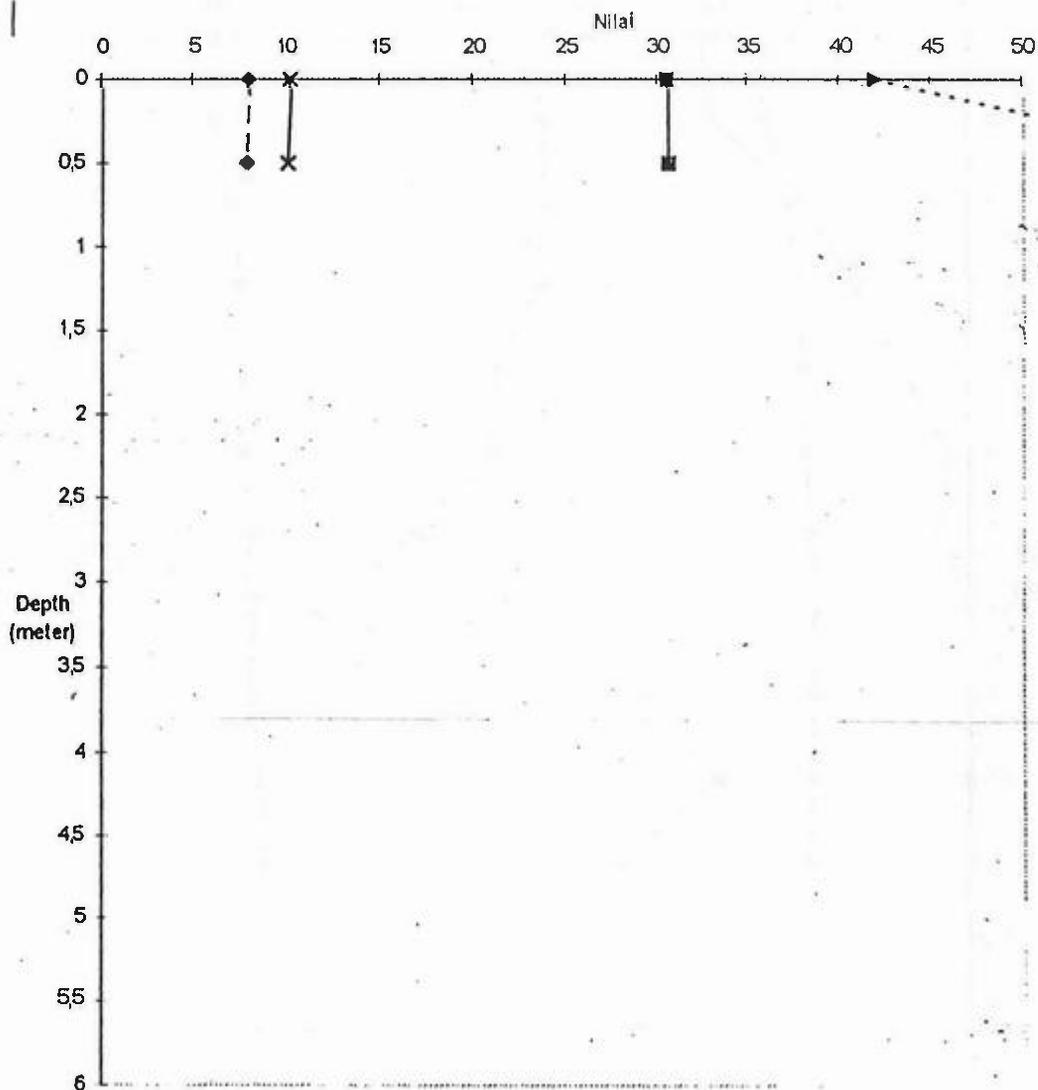


Lampiran 3f

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAU TELUK

Titik7

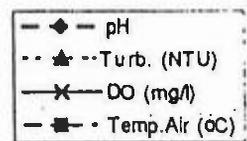
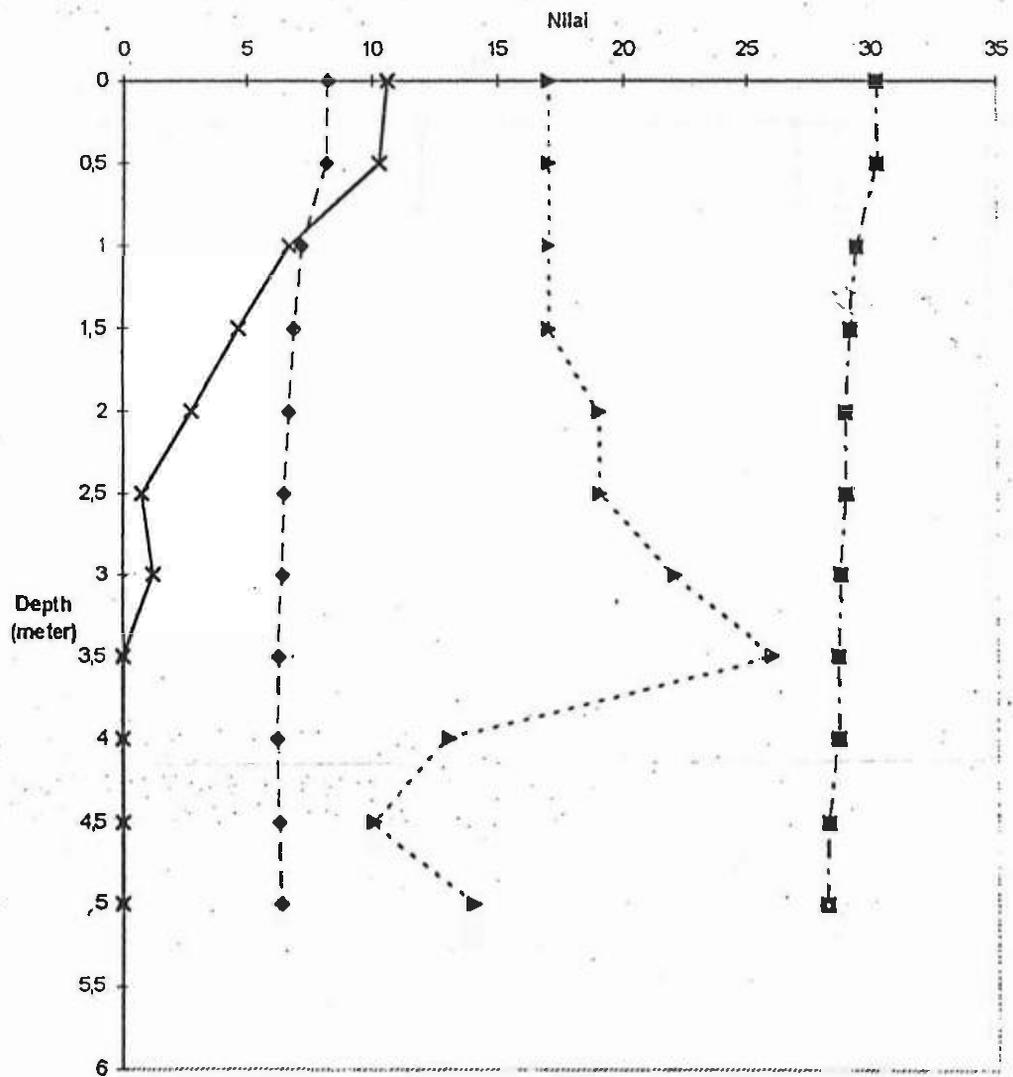
Kedalaman Maximum: 0.5 meter



Lampiran 3g

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN DANAUTELUK

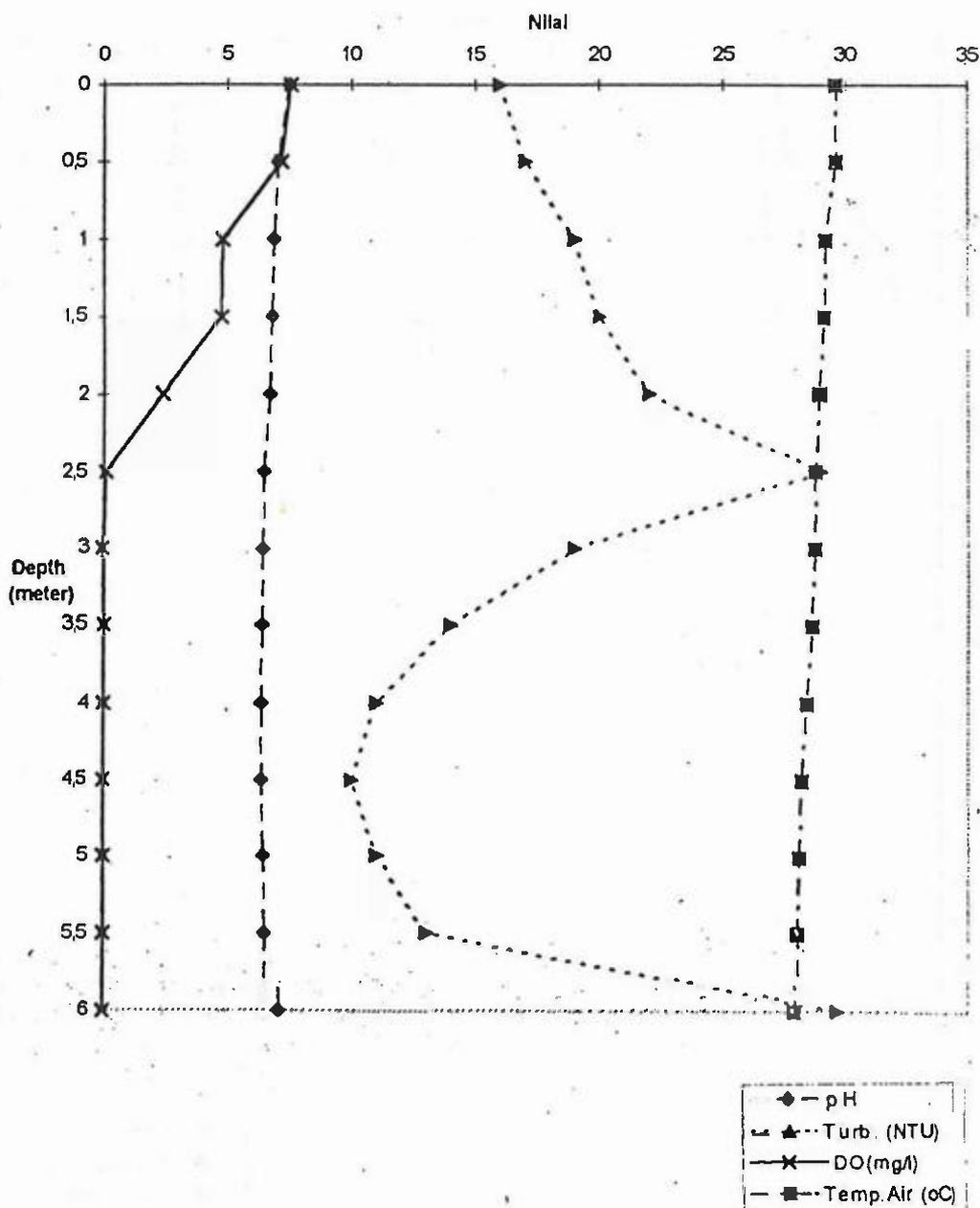
Titik 8
Kedalamnn Maximum: 5 meter



Lampiran 3h

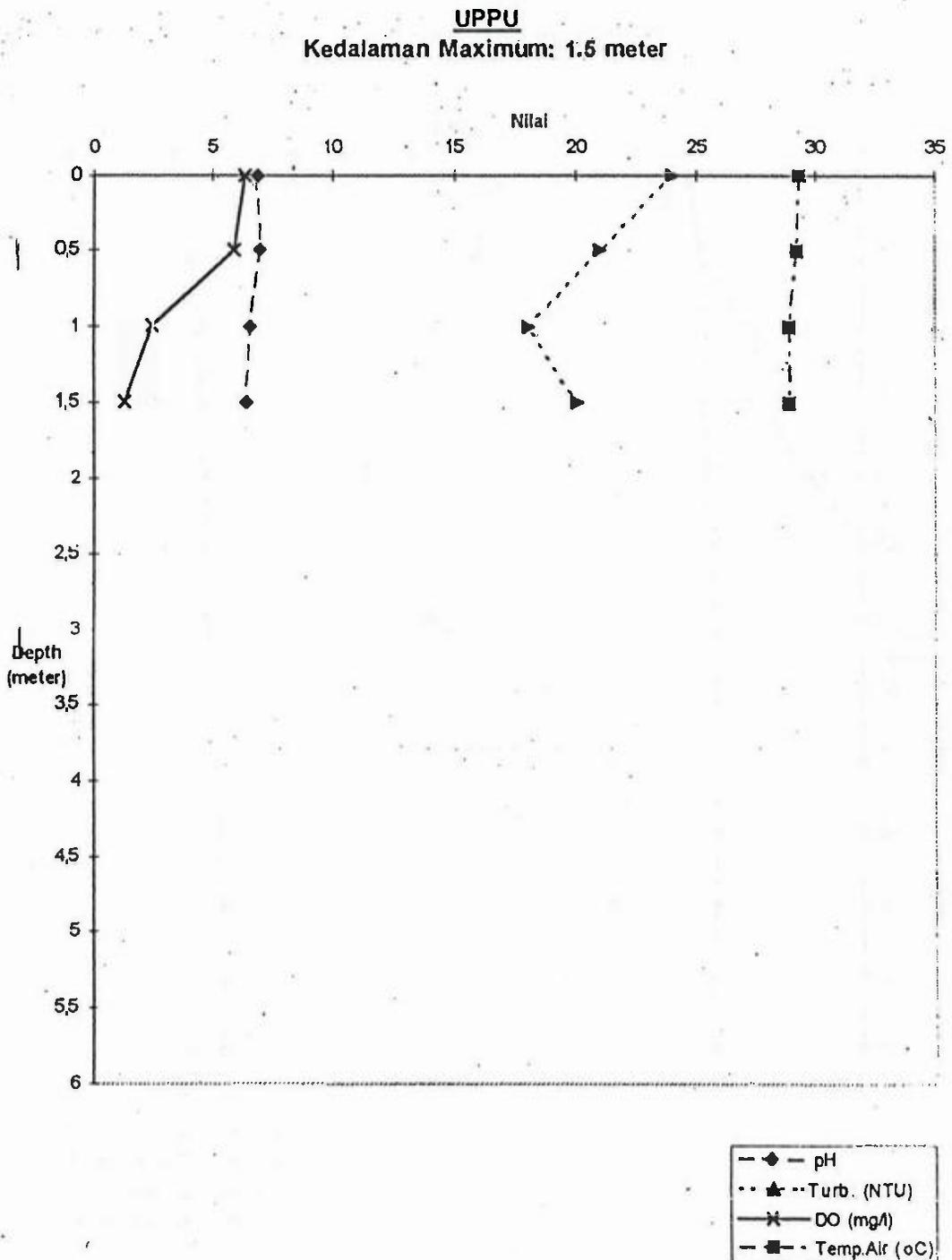
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK

Titik 9
Kedalaman Maximum: 6 meter



Lampiran 3i

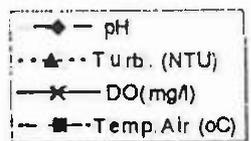
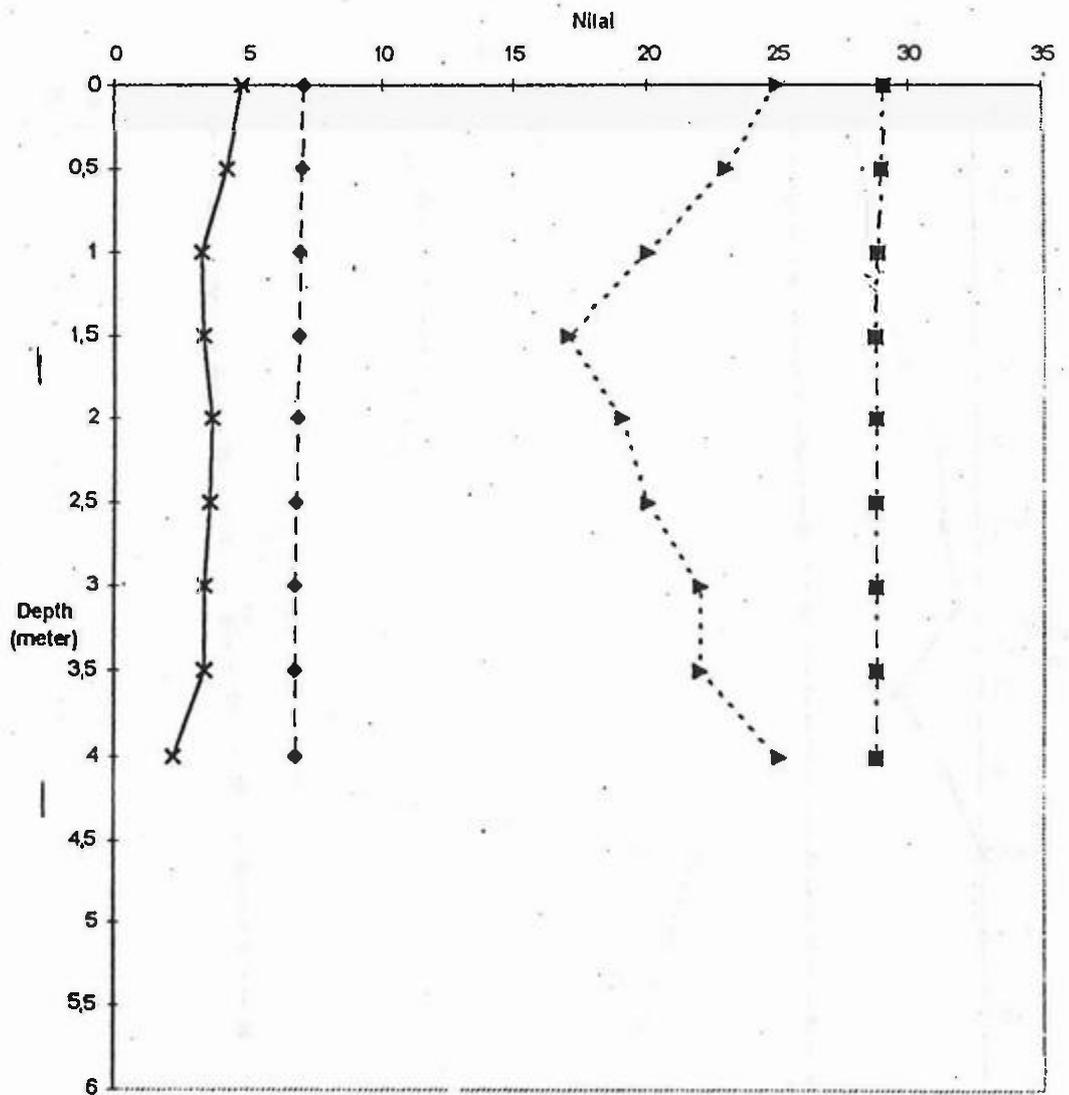
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK



Lampiran 3j

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK

Titik 11
Kedalaman Maximum: 4 meter

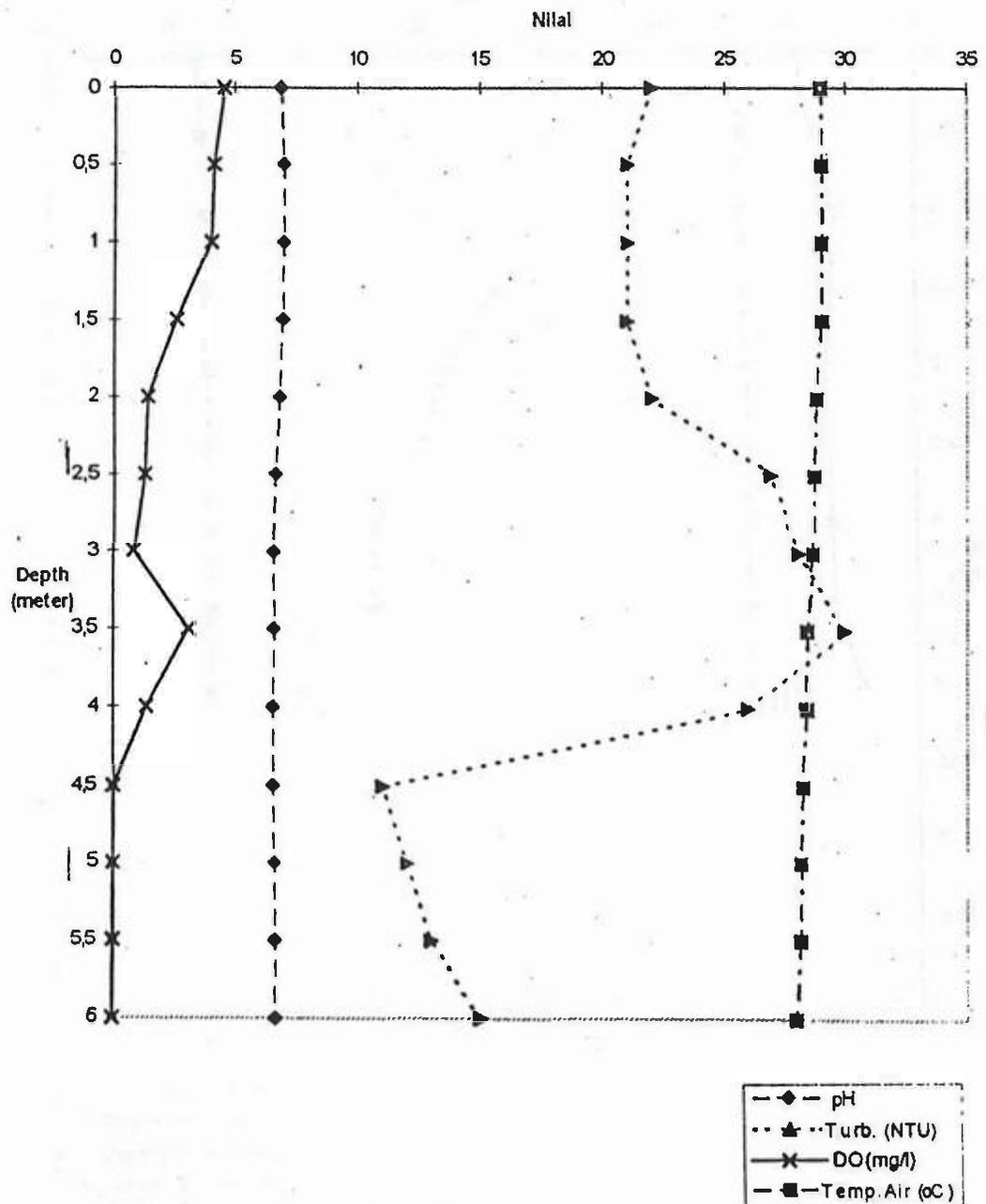


Lampiran 3k

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN DANAUTELUK

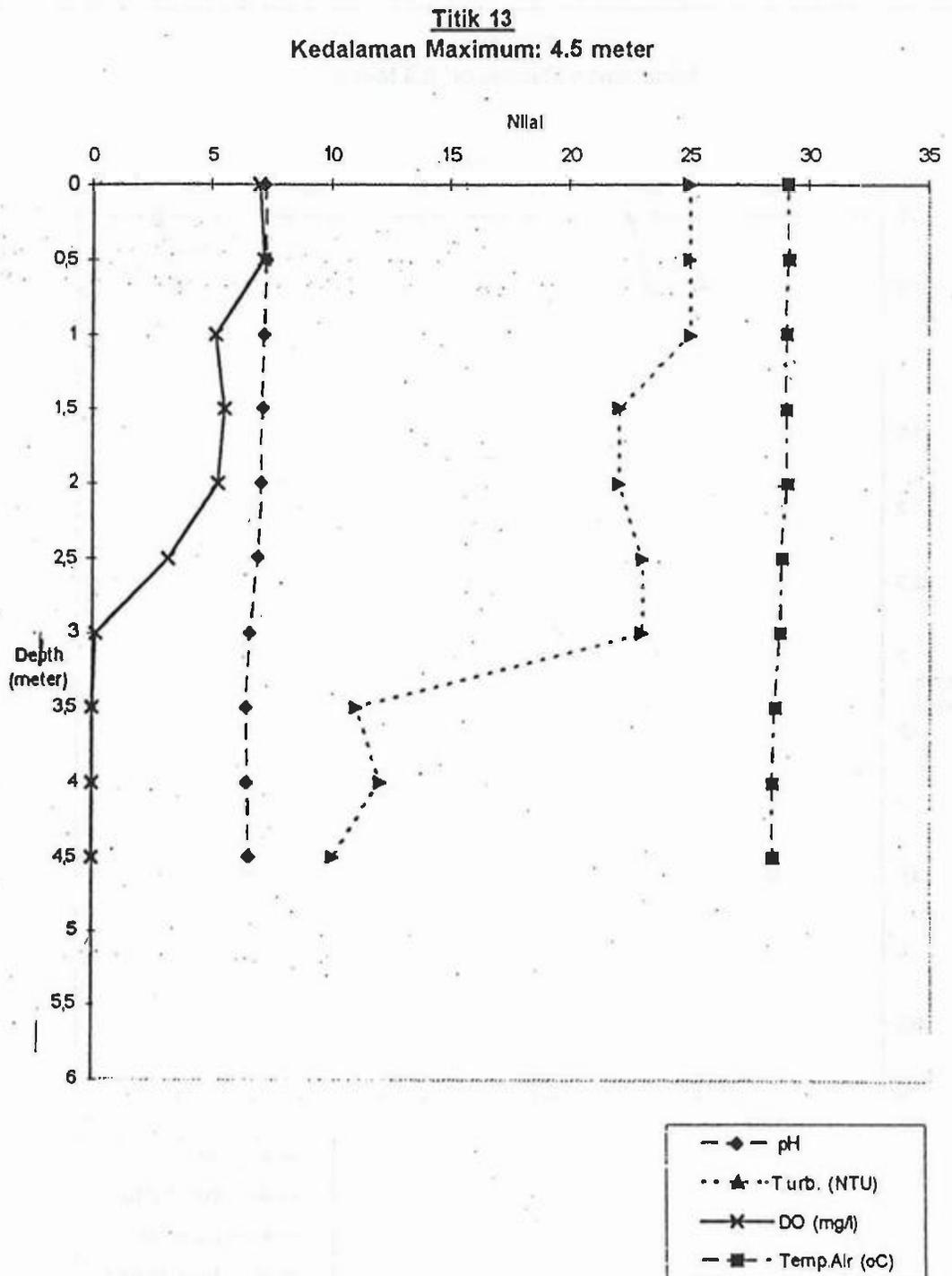
Titik 12

Kedalamn Maximum: 6 meter



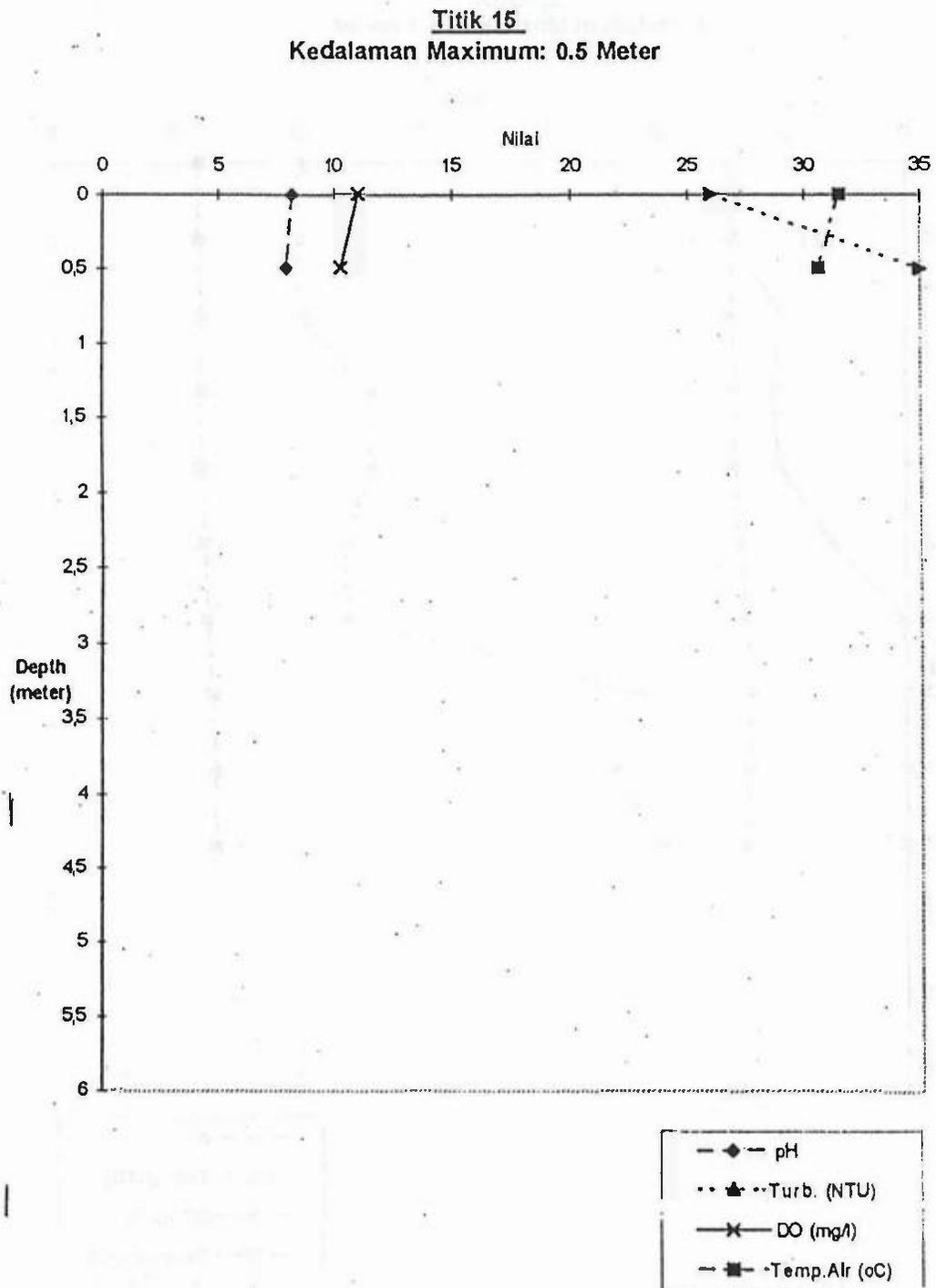
Lampiran 31

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK



Lampiran 3m

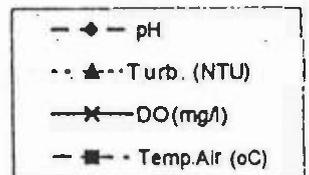
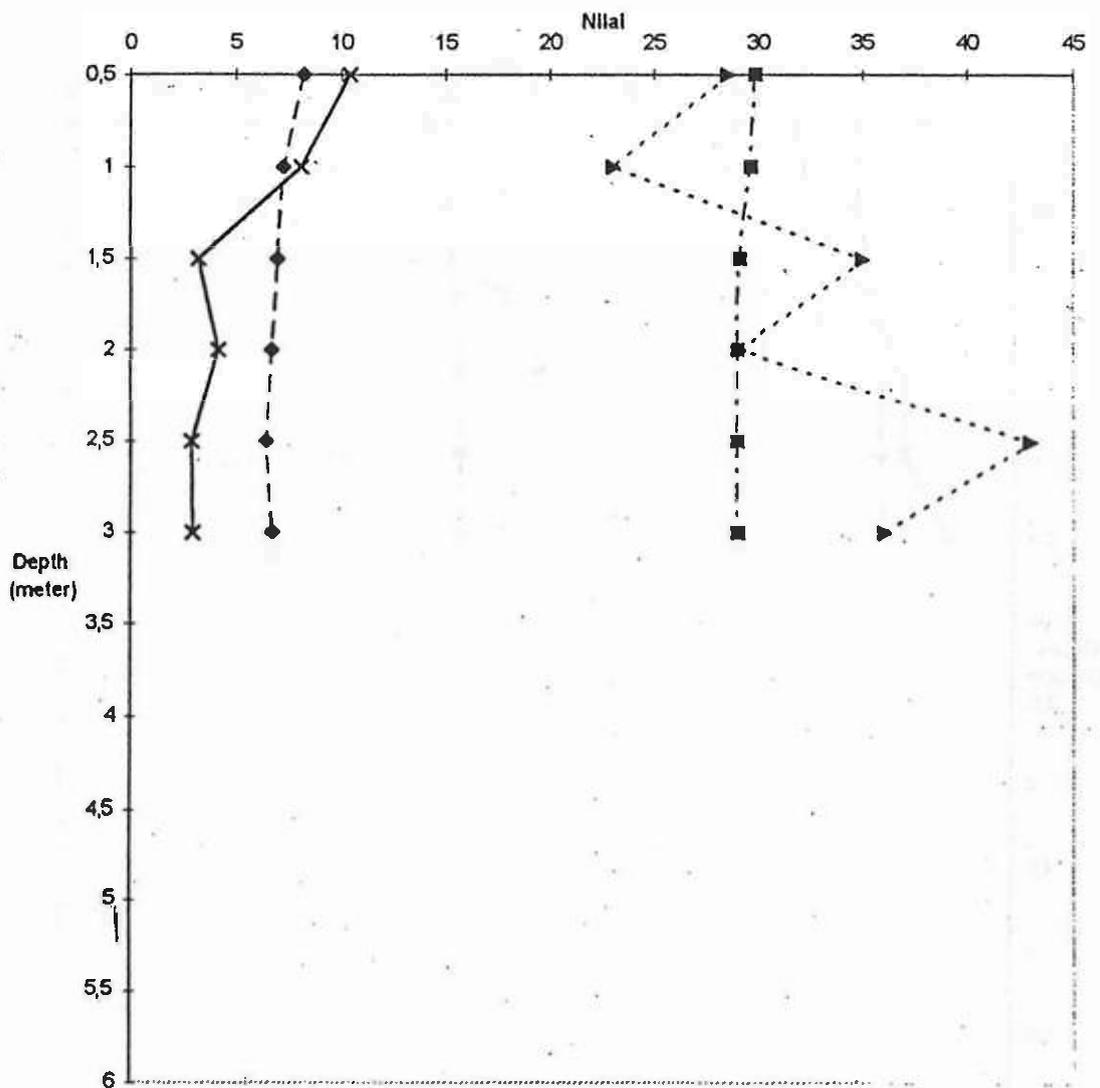
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN DANAUTELUK



Lampiran 3n

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAU TELUK

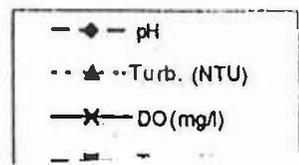
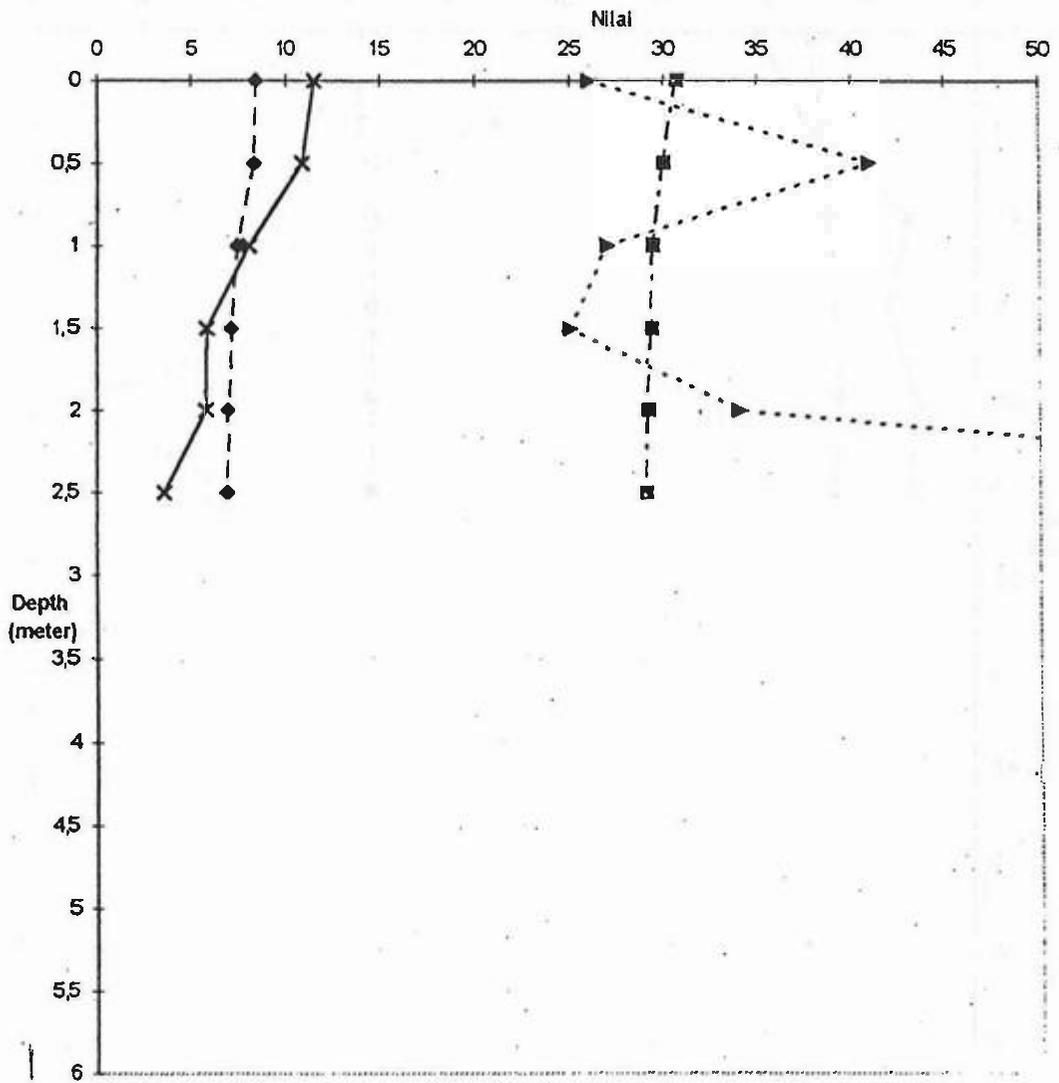
Titik 16
Kedalaman Maximum: 3 meter



Lampiran 3o

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK

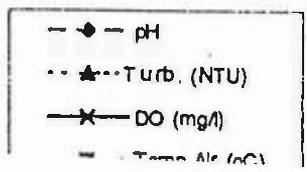
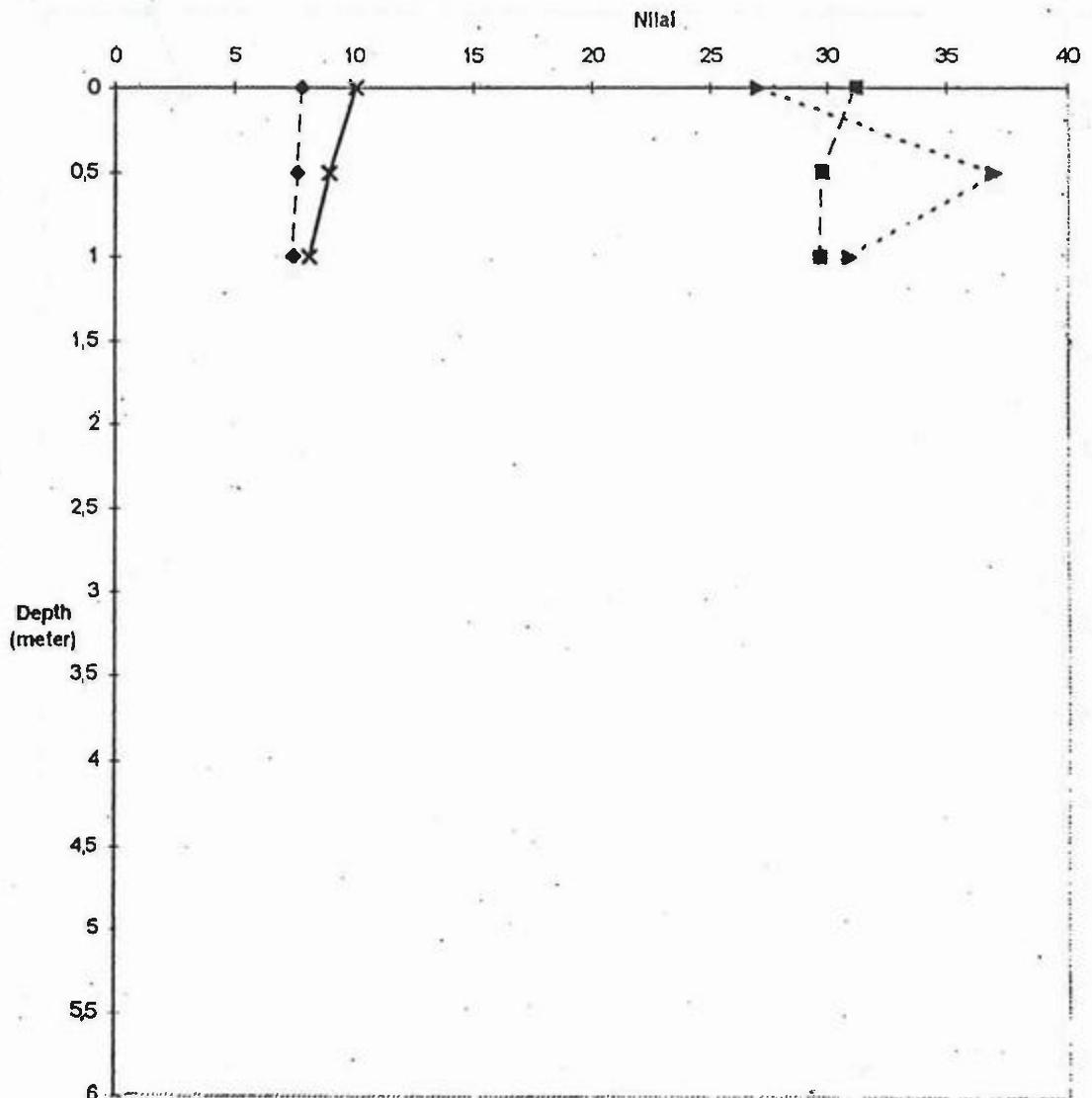
Titik 17
Kedalaman Maximum: 2.5 meter



Lampiran 3p

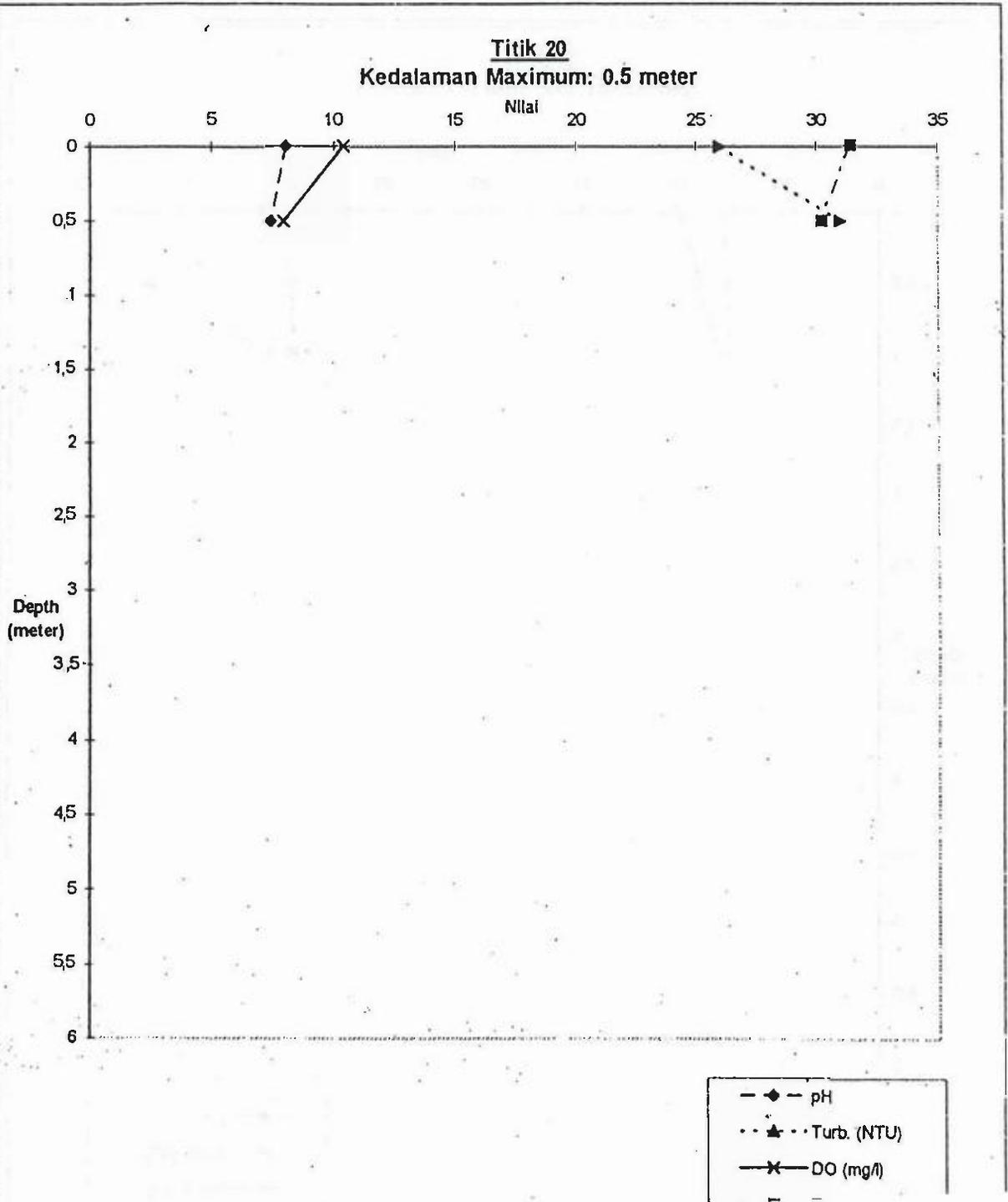
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN DANAUTELUK

Titik 18
Kedalaman Maximum: 1 meter



Lampiran 3q

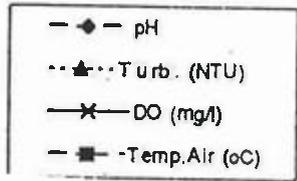
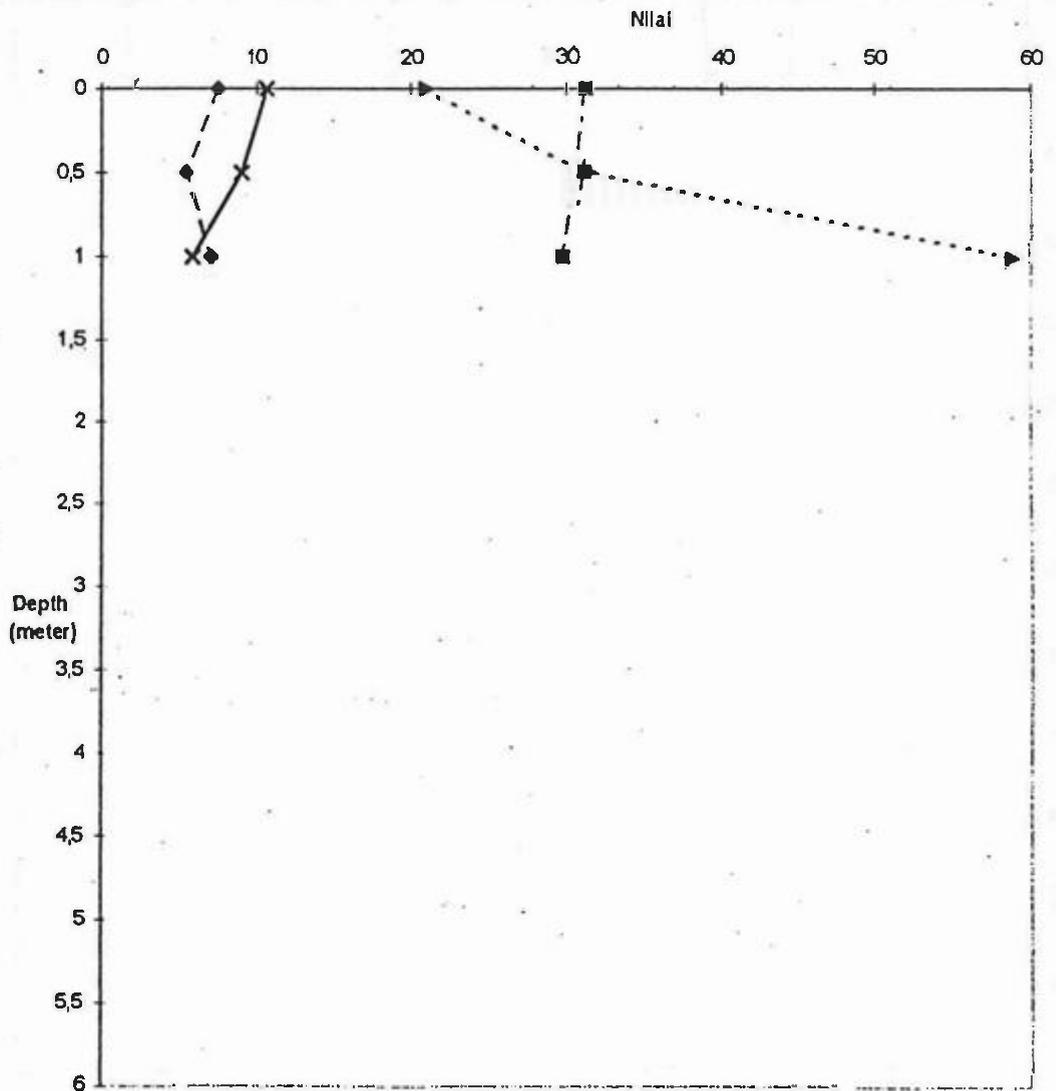
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAU TELUK



Lampiran 3r

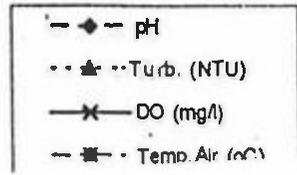
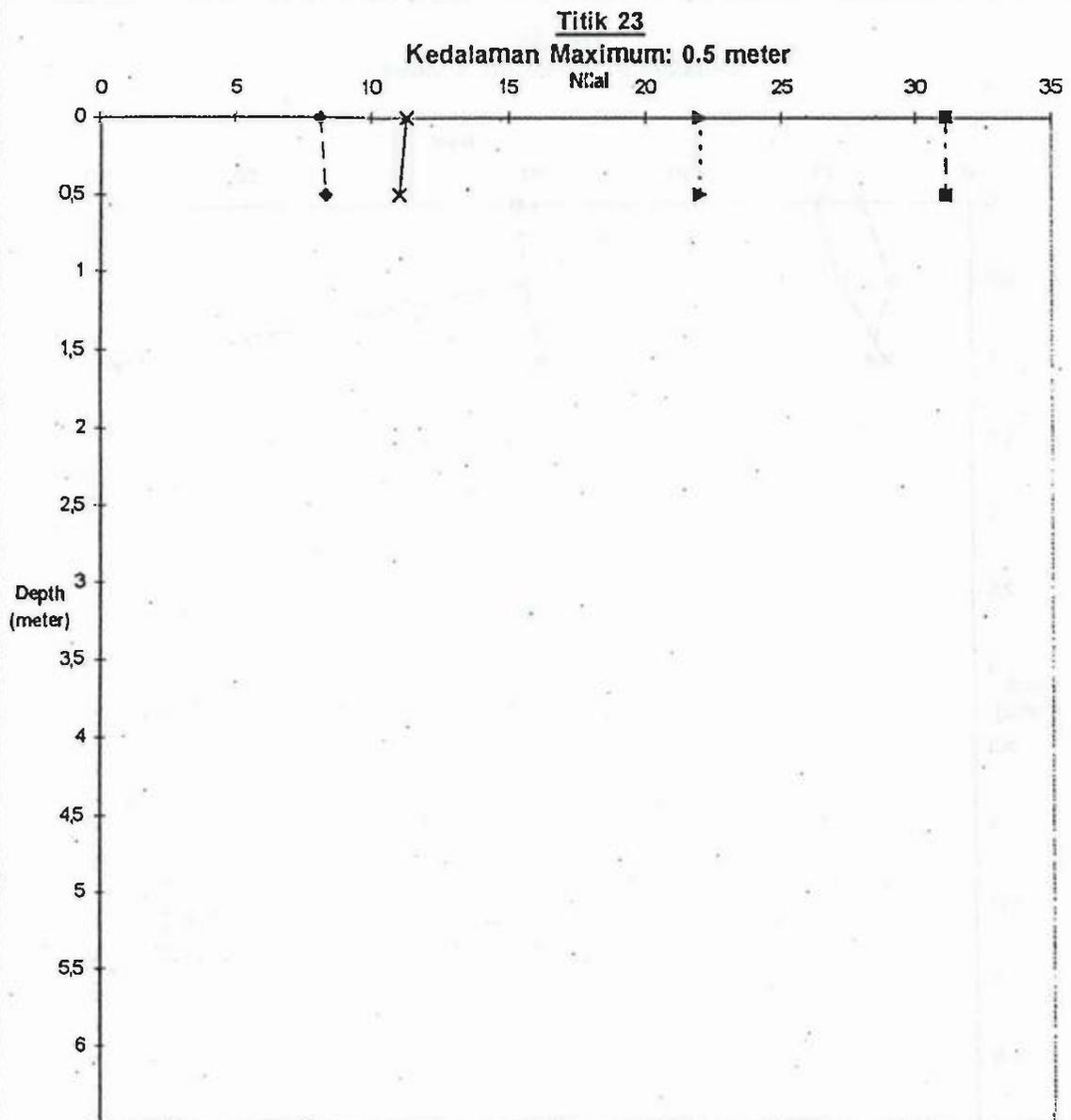
GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER
FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN
DANAUTELUK

Titik 21
Kedalaman Maximum: 1 meter



Lampiran 3s |

GRAFIK HUBUNGAN ANTARA PARAMETER FISIKOKIMIA DENGAN KEDALAMAN DANAUTELUK



Lampiran 4. INFORMASI SINGKAT MENGENAI REAKTOR INJEKSI SERI LIMNOTEK- 3.1

(Teknologi aerasi untuk pengendalian proses kerusakan perairan Situ, Danau atau Waduk).

1. Tipe perangkat keras :

Reaktor Injeksi udara ke lapisan hipolimnion danau, situ atau waduk.

2. Sejarah perkembangannya:

- dikembangkan oleh staf peneliti dan teknisi yang tergabung bekerja di Balitbang Dinamika Perairan Puslitbang Limnologi-LIPI selama lebih kurang empat tahun.
- Adaptasi teknologi serupa sudah diterapkan di negara-negara Amerika, Jepang, Eropa dan Kanada
- sudah dapat direkayasa di Indonesia
- terdaftar untuk memperoleh hak paten di Departemen Kehakiman RI atas nama Puslitbang Limnologi -LIPI atas nama Dede Irving Hartoto

3. Spesifikasi Teknis dan informasi singkat mengenai unjuk kerja

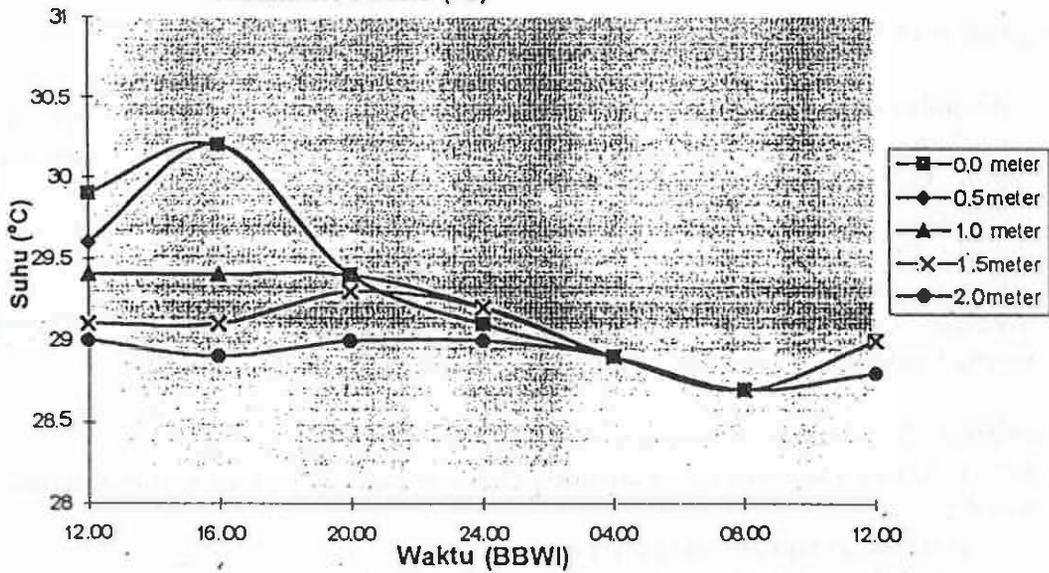
- a. Seri terbaru LIMNOTEK 3.1 mampu memacu laju purifikasi alami di danau melalui
 - percepatan laju amonifikasi dan nitrifikasi
 - penghilangan bau dan warna
 - pemobilisasiasi fosfat
 - pengendalian leaching besi dan Mn
 - mereduksi laju pertumbuhan gulma
 - mengaktifkan bungan alamiah atau "natural sludge"
 - menurunkan konsentrasi amonia, nitrit, sulfida dan fosfin di kolom air
 - mampu meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut di hipolimnion sampai 4 mg/l
 - mengubah perbandingan TN:TP sampai diatas 12
 - dan sebagainya
- b. Sistem aerasi pemasukan udara terkompresi pada suatu kolom air sampai air tersebut lebih kaya oksigen kemudian airnya di distribusikan dengan cara yang khusus ke lapisan hipolimnion. Untuk ini perlu kompresor yang digerakkan dengan tenaga listrik.

4. Spesifikasi Penggunaan

- "taylor made" setiap danau perlu didisainkan secara khusus
- cocok untuk menghilangkan kandungan amonia besi dan mangan di lapisan hipolimnion
- di sebuah danau perlu dipasang beberapa Reaktor Injeksi tergantung dari luas bentuk basin, kedalaman danau dan faktor-faktor setempat lainnya

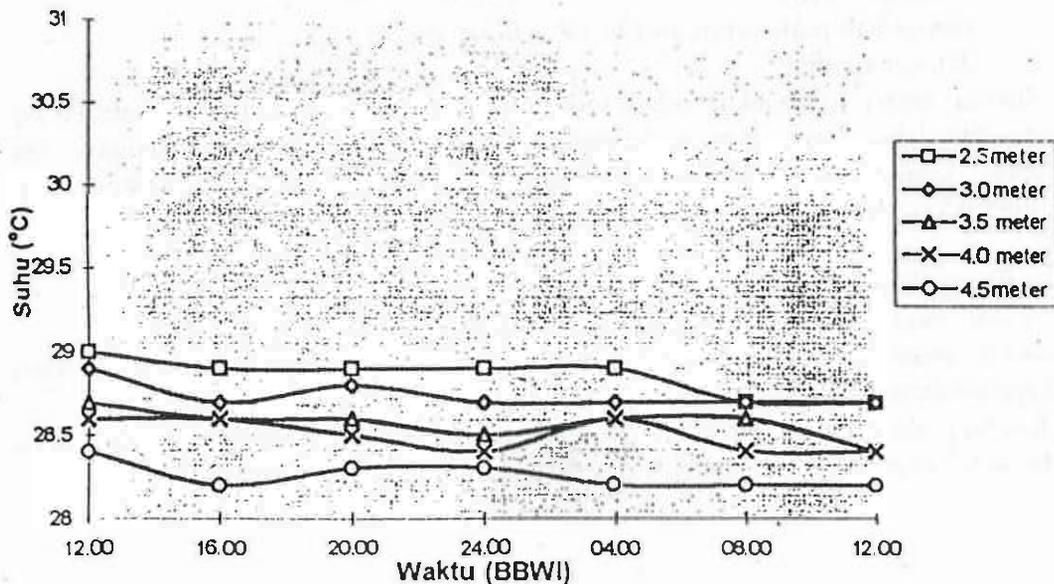
Lampiran 4a

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS
DANAUTELUK
PADA KEDALAMAN 0 - 2 METER
Tanggal : 22 Agustus 1997
Parameter : Suhu (°C)



Lampiran 4b

VARIA DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS
DANAUTELUK
PADA KEDALAMAN 2.5 - 4.5 METER
Tanggal : 22 Agustus 1997
Parameter : Suhu (°C)



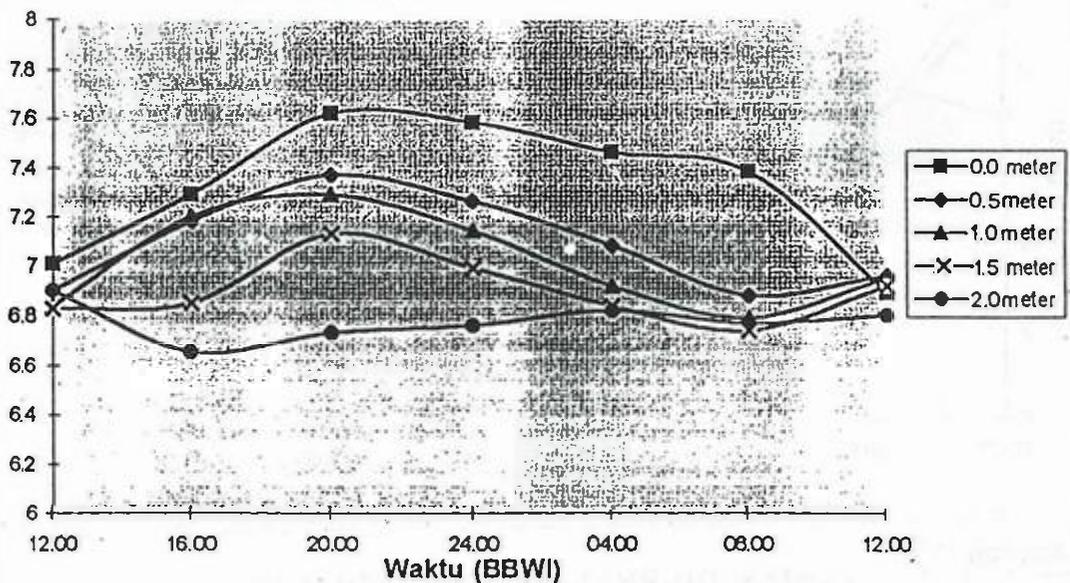
Lampiran 4c

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK

PADA KEDALAMAN 0-2 METER

Tanggal : 22 Agustus 1997

Parameter : pH



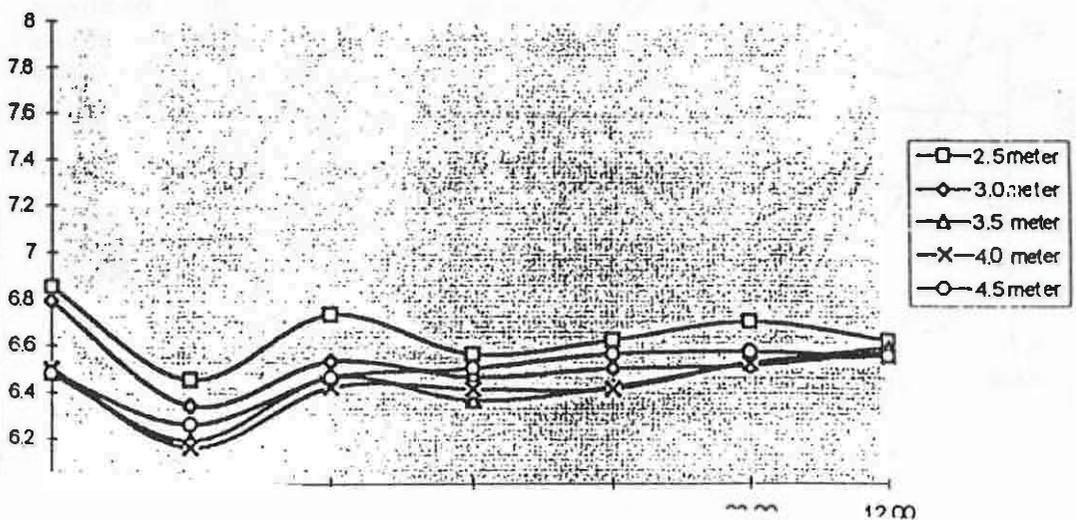
Lampiran 4d

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK

PADA KEDALAMAN 2.5 -4.5 METER

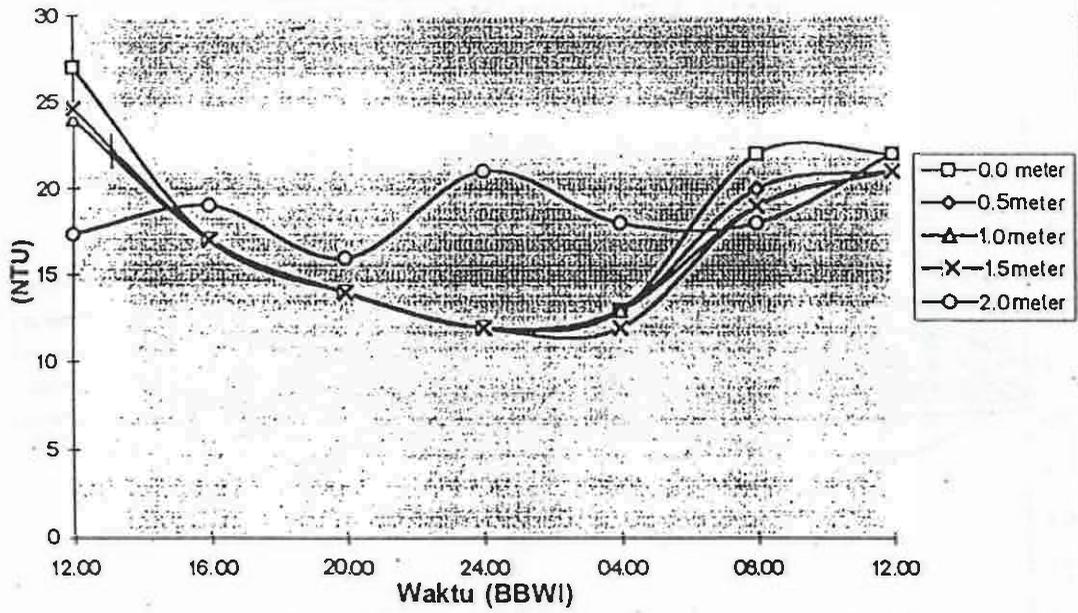
Tanggal : 22 Agustus 1997

Parameter : pH



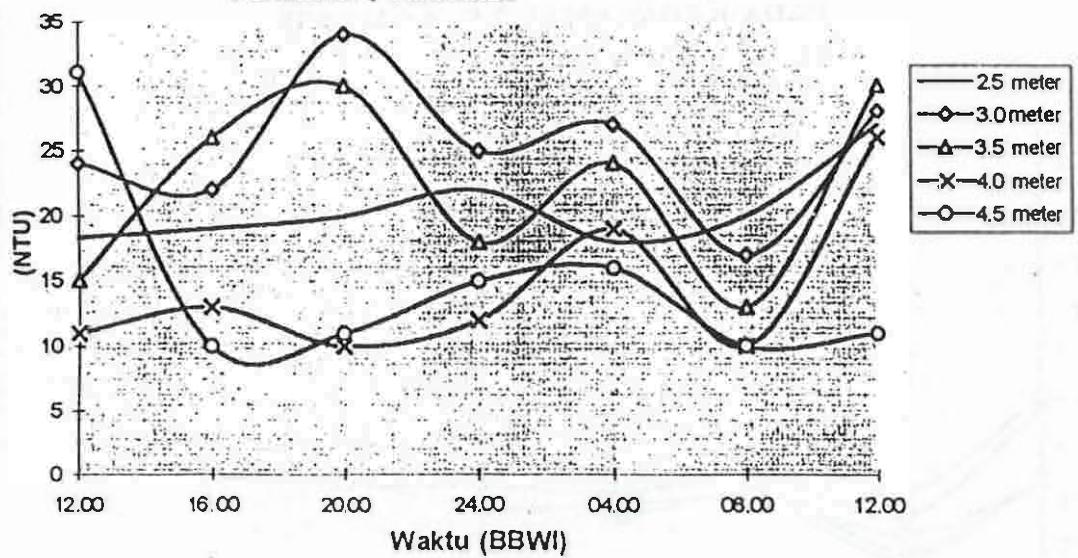
Lampiran 4e

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS
DANAUTELUK
PADA KEDALAMAN 0-2METER
Tanggal : 22 Agustus 1997
Parameter : Turbiditas



Lampiran 4f

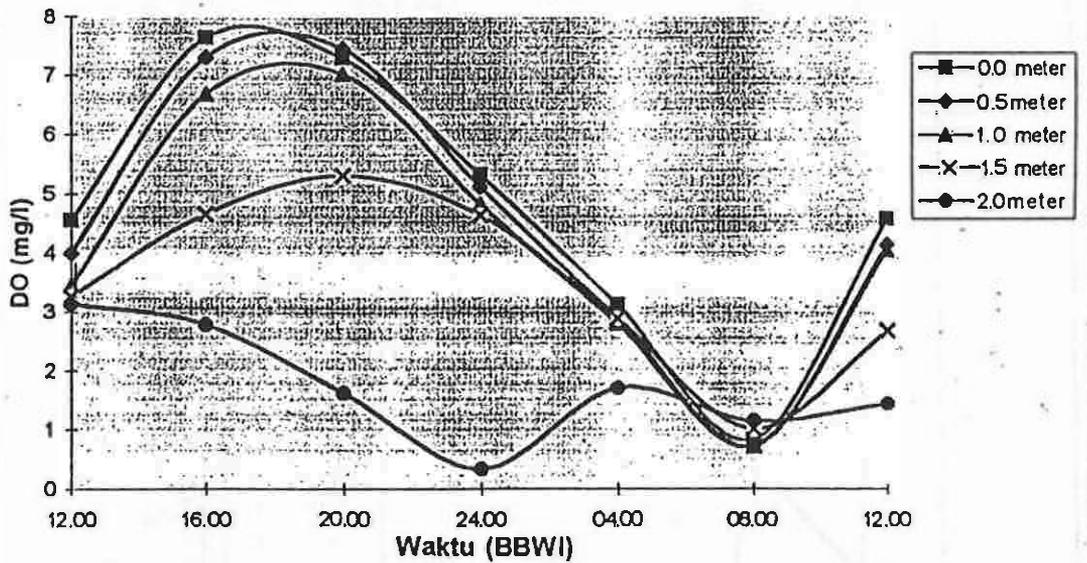
VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS
DANAU TELUK
PADA KEDALAMAN 2.5 -4.5 METER
Tanggal : 22 Agustus 1997
Parameter : Turbiditas



Lampiran 4 g

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK PADA KEDALAMAN 0-2 METER

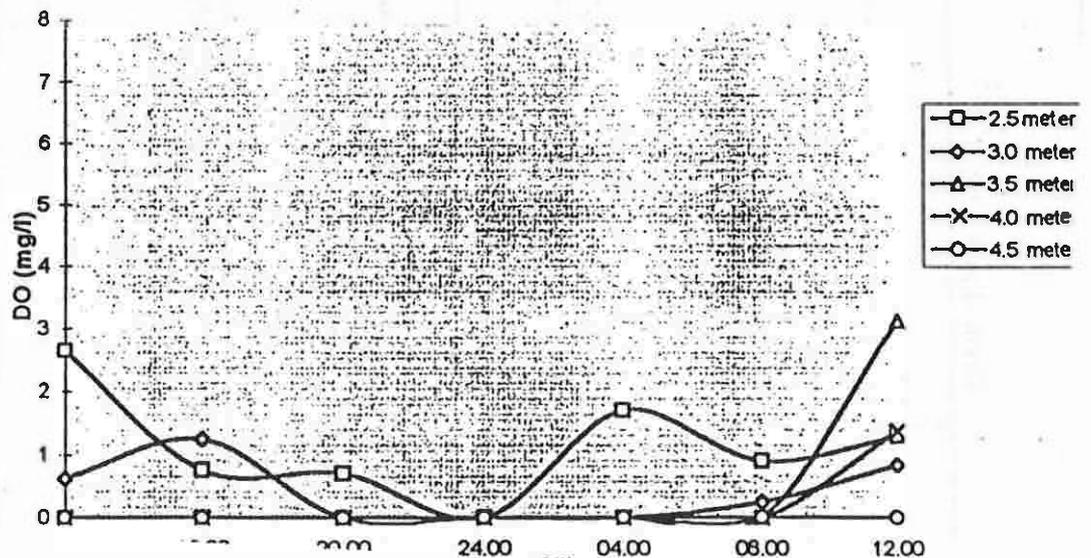
Tanggal : 22 Agustus 1997
Parameter : Dissolved Oxygen



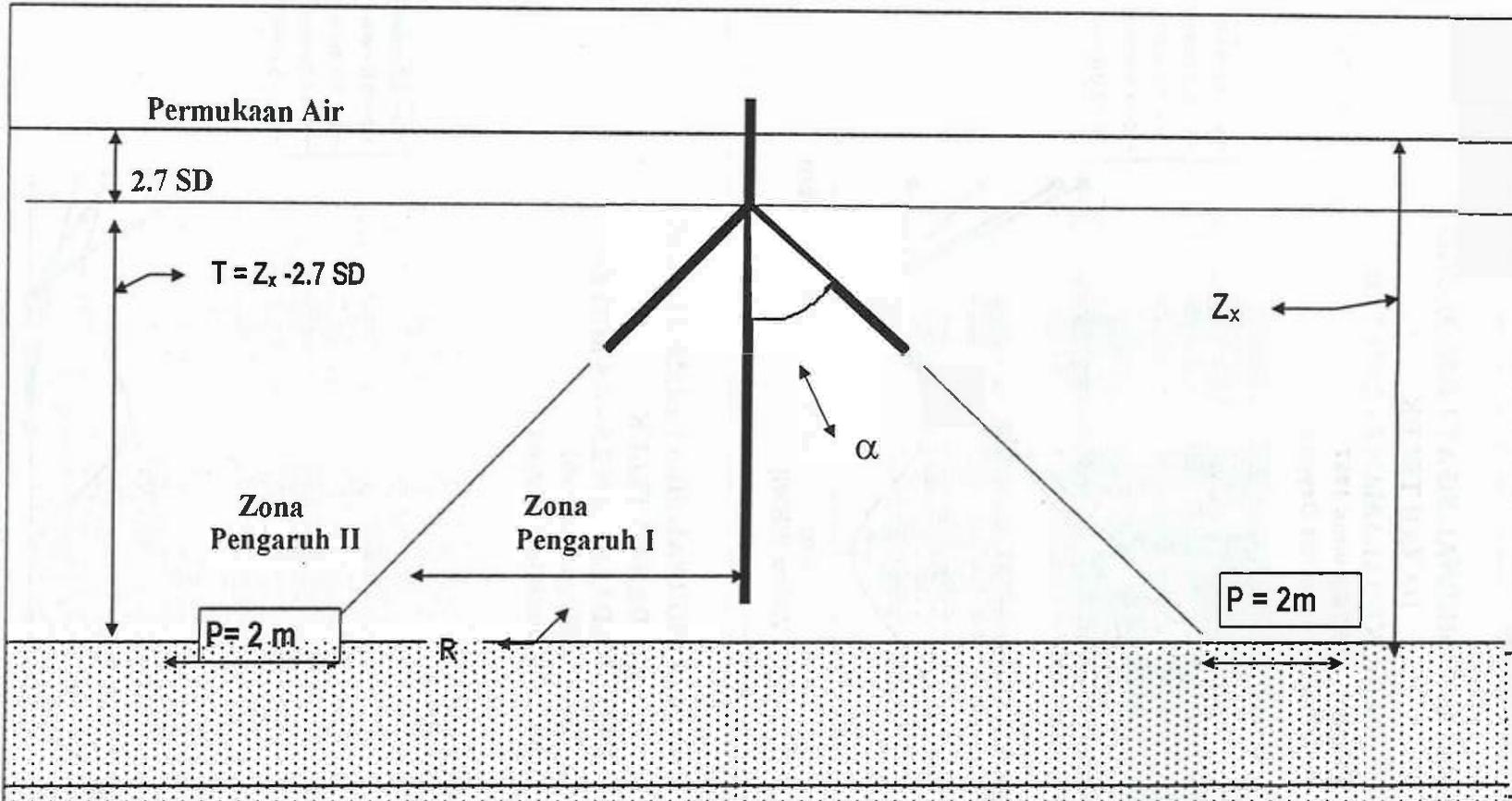
Lampiran 4 h

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK PADA KEDALAMAN 2.5 - 4.5 METER

Tanggal : 22 Agustus 1997
Parameter : Dissolved Oxygen



5. Bagan zona-zona yang terpengaruh oleh proses aerasi LIMNOTEK 3.1.



Keterangan: R = jari-jari zona pengaruh I (Kandungan oksigen terlarut lebih tinggi); P = tebal zona pengaruh II (kandungan oksigen terlarut lebih rendah tetapi masih terpengaruh); Z_x = kedalaman danau di tempat pemasangan reaktor; SD = Kedalaman Secchi (m); T = tinggi kolom air zona I; α : sudut konverter

6. Model Matematika untuk menghitung luas perairan yang terpengaruh oleh Reaktor Injeksi LIMNOTEK 3.1.

$$\text{Luas Zona I} = 3,14 (Z_x - 2,7 \text{ SD})$$

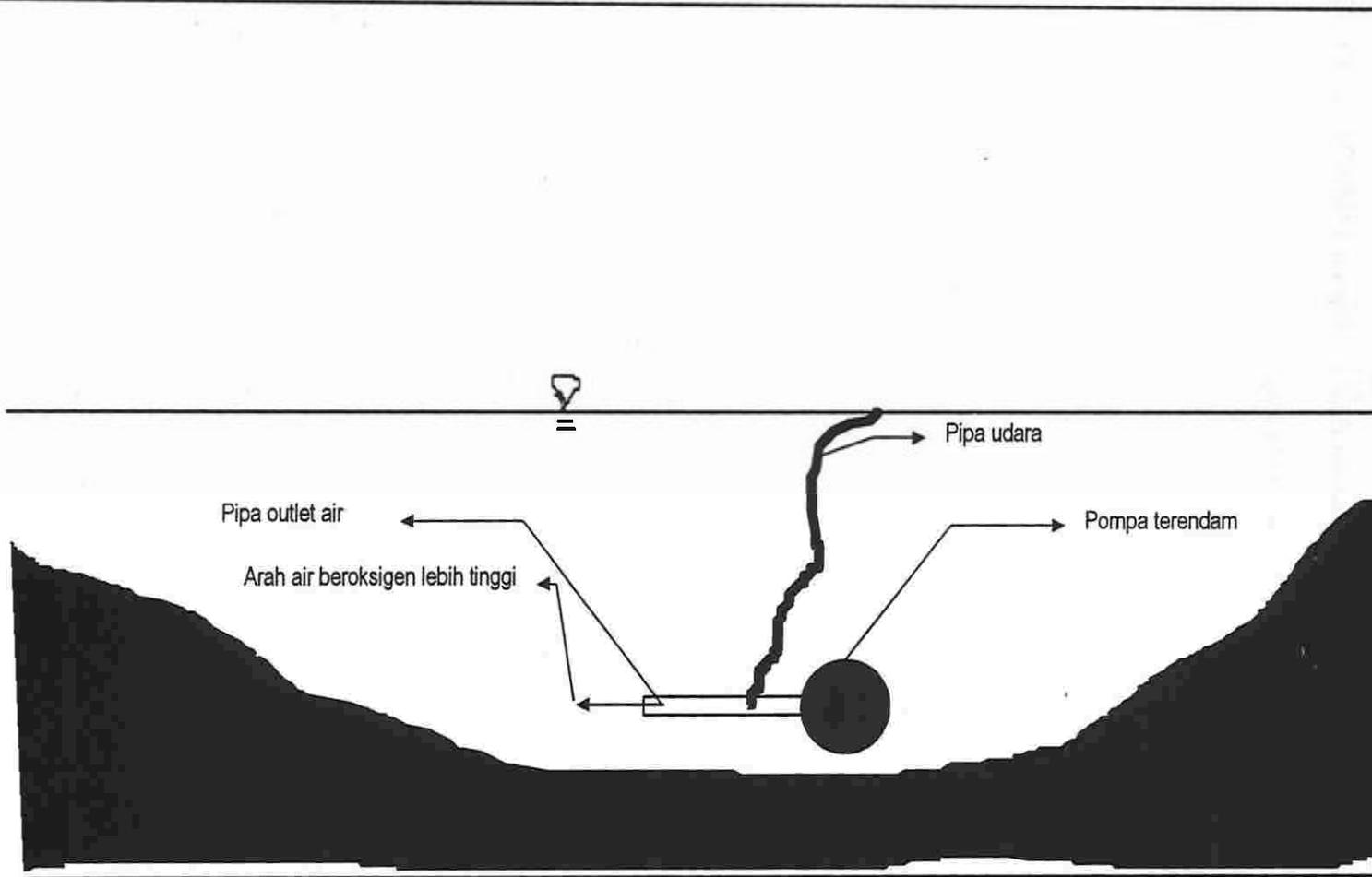
$$\text{Luas Zona II} = 3,14 \{ (2 + Z_x - 2,7 \text{ SD})^2 - (Z_x - 2,7 \text{ SD})^2 \}$$

dengan:

Z_x = kedalaman danau dimana Reaktor Injeksi LIMNOTEK 3.1. di-pasang
(m)

SD = Kedalaman Cakram Secchi (m)

an 5. Pra-Rancangan seri LIMNOTEK 5.1, dengan alternatif sistem aerasi "hipolimnion" danau dangkal dengan sistem pompa terendam

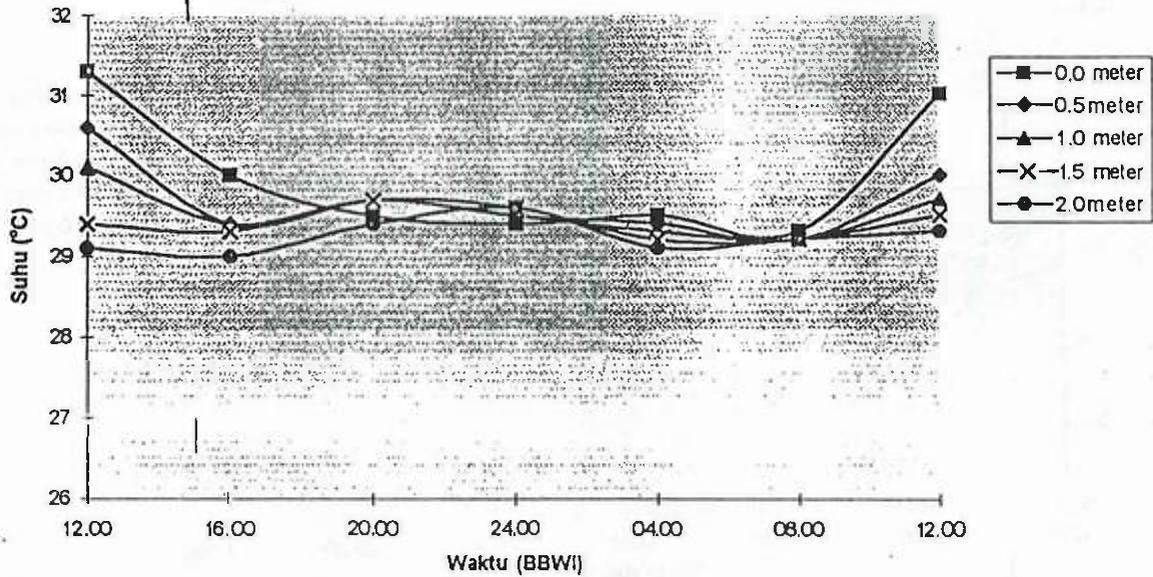


Lampiran 5a

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK PADA KEDALAMAN 0 - 2 METER

Parameter : Suhu (°C)

Tanggal : 26-27 November 1997

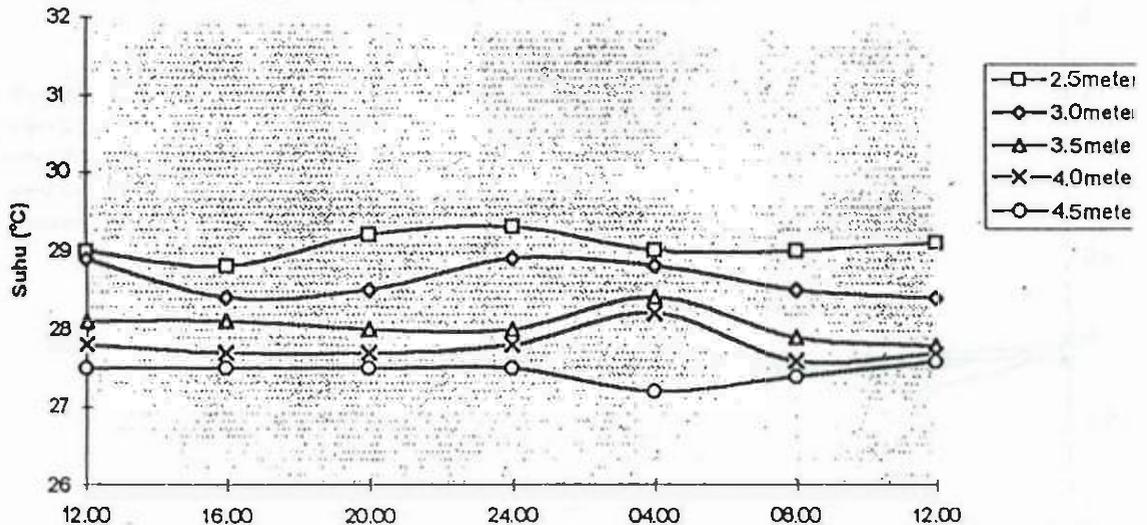


Lampiran 5b

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAU TELUK PADA KEDALAMAN 2.5 - 4.5 METER

Parameter : Suhu (°C)

Tanggal : 26-27 November 1997

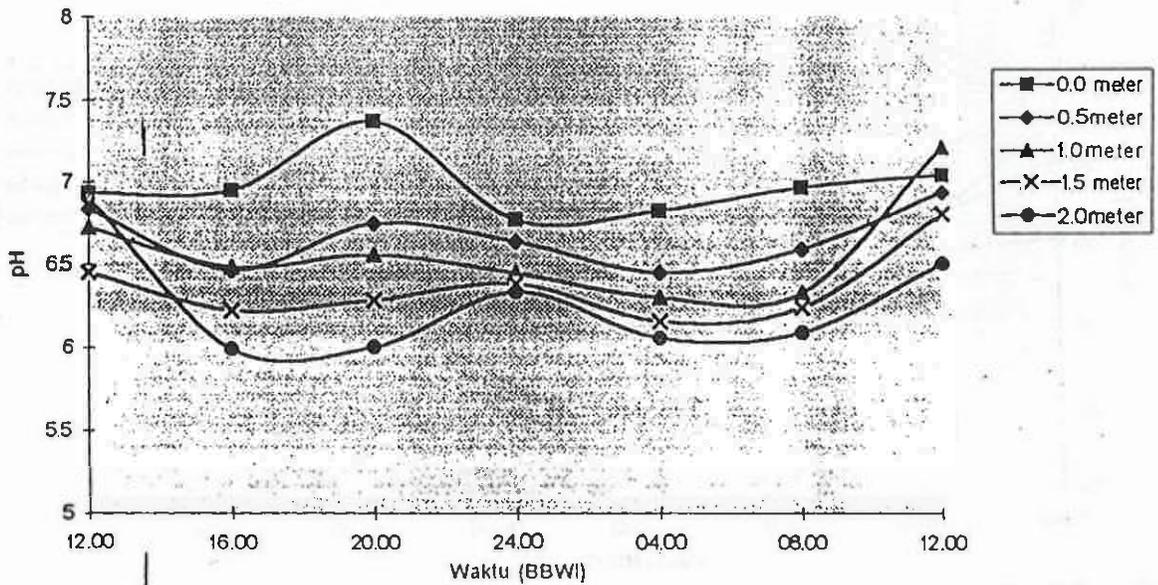


Lampiran 5c

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAU TELUK PADA KEDALAMAN 0-2METER

Parameter : pH

Tanggal : 26-27 November 1997

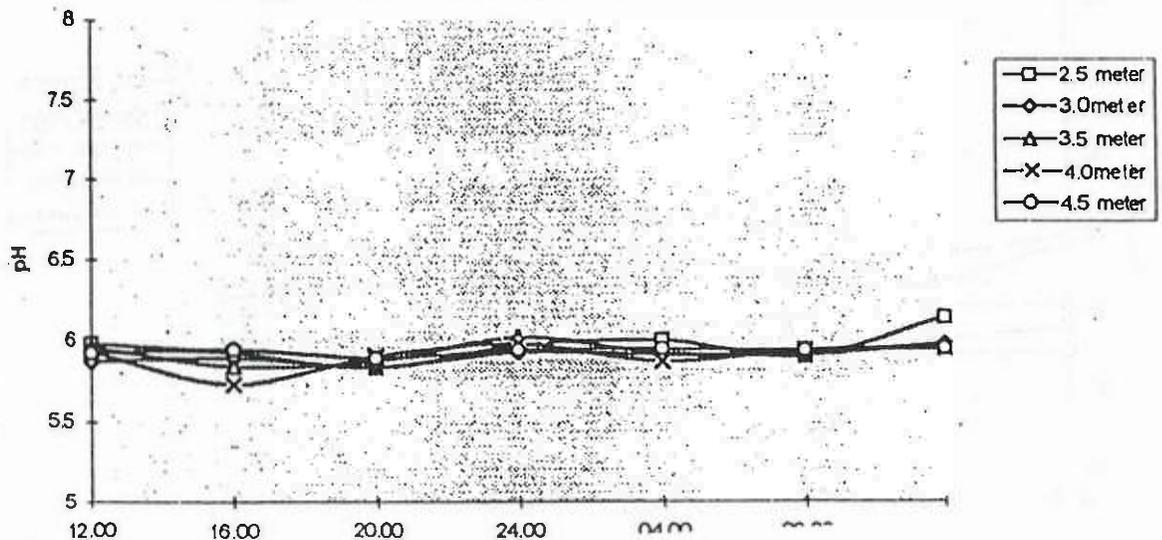


Lampiran 5d

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAU TELUK PADA KEDALAMAN 2 - 2.5 METER

Parameter: pH

Tanggal : 26-27 November 1997



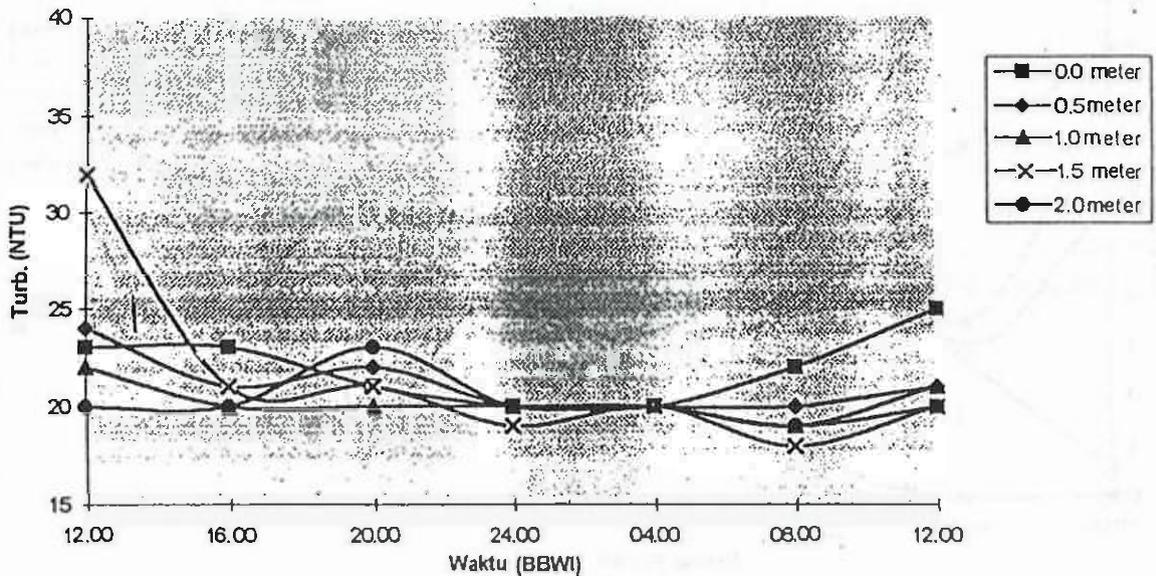
Lampiran 5e

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK

PADA KEDALAMAN 0 - 2 METER

Parameter : Turbiditas (NTU)

Tanggal : 26-27 November 1997



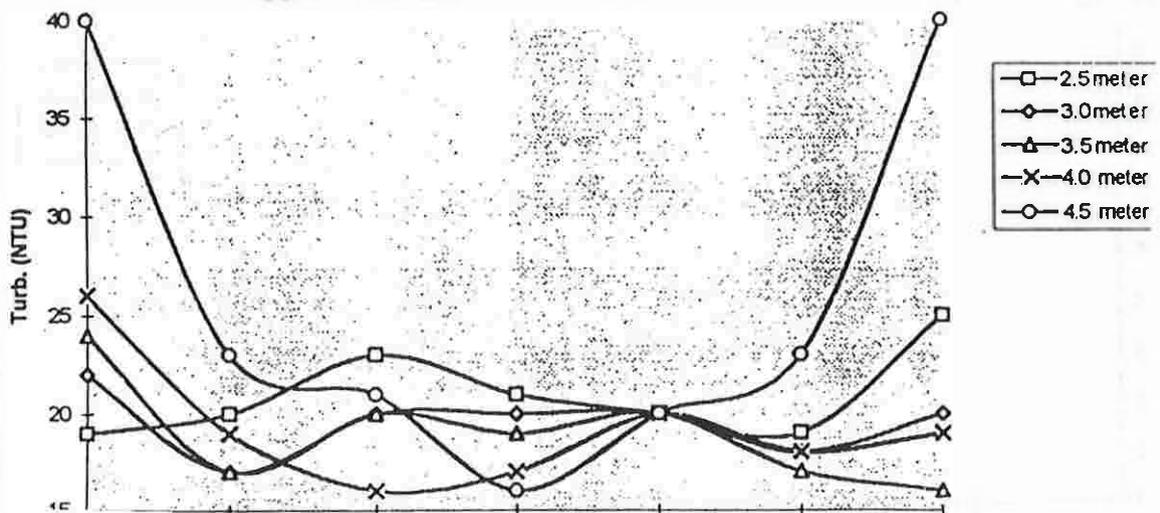
Lampiran 5f

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK

PADA KEDALAMAN 2.5 - 4.5 METER

Parameter : Turbiditas (NTU)

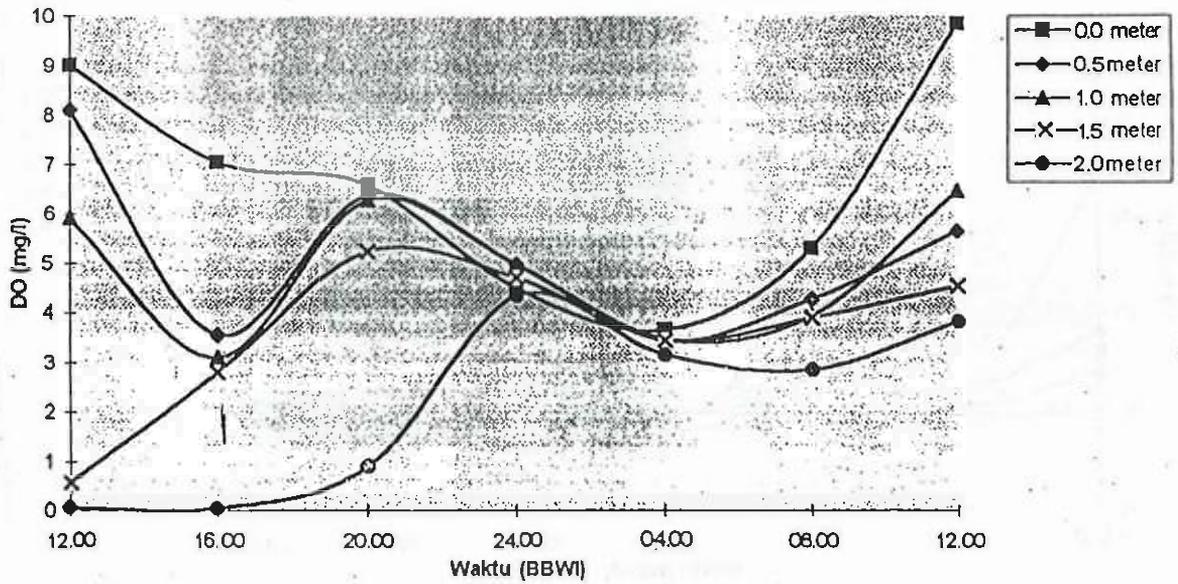
Tanggal : 26-27 November 1997



Lampiran 5 g

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK PADA KEDALAMAN 0-2 METER

Parameter : Dissolved Oxygen
Tanggal : 26-27 November 1997



Lampiran 5 h

VARIASI DIURNAL SIFAT LIMNOLOGIS DANAUTELUK PADA KEDALAMAN 2.5 - 4.5 METER

Parameter : Dissolved Oxygen
Tanggal : 26-27 November 1997

