

C2

DANAU TOBA

**Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman
Lingkungan dari Pengembangan Karamba Jaring Apung**

27 OCT 2014

HADIAH

Sanksi Pelanggaran Pasal 72

Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002

Perubahan atas Undang-undang Nomor 7 Tahun 1987

Perubahan atas Undang-undang Nomor 6 Tahun 1982

Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

DANAU TOBA

**Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman
Lingkungan dari Pengembangan Karamba Jaring Apung**

Lukman

LIPI Press

© 2013 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Limnologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Danau Toba: Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman Lingkungan dari Pengembangan
Karamba Jaring Apung /Lukman.—Jakarta: LIPI Press, 2013.

xvi + 106 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-979-799-745-8

1. Danau

2. Indonesia

599.35

Copy Editor : Fadly Suhendra
Penata Isi : Fadly Suhendra
Desainer Sampul : Junaedi Mulawardana

Cetakan Pertama : Oktober 2013
Cetakan Kedua : Desember 2013



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Jln. Gondangdia Lama 39, Menteng, Jakarta 10350
Telp. (021) 314 0228, 314 6942. Faks. (021) 314 4591
E-mail: bmlipi@centrin.net.id
lipipress@centrin.net.id
press@mail.lipi.go.id

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
PENGANTAR PENERBIT	xi
PRAKATA	xiii
KATA PENGANTAR	xv
PENDAHULUAN	1
KONDISI LINGKUNGAN PERAIRAN DANAU TOBA	7
Kondisi Daerah Tangkapan Air	7
Kondisi Hidrologi	9
Karakteristik Perairan Danau Toba	13
Kondisi Fisik dan Morfometri Danau Toba	13
Wilayah Litoral	17
Profil Suhu Perairan	19
Ketersediaan Oksigen Terlarut	20
Kondisi Kualitas Air	22
Komunitas Biota	28
Plankton	28
Ikan	29
Hewan Benthik	32
Tumbuhan Air	32
PEMANFAATAN WILAYAH EKOSISTEM DANAU TOBA	35
SKENARIO ANCAMAN BENCANA LINGKUNGAN DARI PENGEMBANGAN KARAMBA JARING APUNG	43
Marak (<i>Blooming</i>) Plankton	43
Kondisi Anoksik di Hipolimnion	47
Akumulasi Organik di Sedimen	49
KEBIJAKAN DALAM PENGELOLAAN EKOSISTEM DANAU TOBA	51
Lebih Jauh Mengenal LTEMP	52
Draft Rencana Tata Ruang Kawasan Danau Toba	54
Baku Mutu Air Danau Toba	55

PEMINTAKATAN WILAYAH PERAIRAN DANAU TOBA UNTUK PENGEMBANGAN KARAMBA JARING APUNG	57
Penetapan Daya Dukung	59
Kriteria Pertimbangan Penetapan Zonasi Karamba Jaring Apung	62
Wilayah Litoral Danau	62
Kondisi Hidromorfometri dan Pola Aliran Massa Air	62
Panjang Garis Pantai	63
Pertimbangan Luas Lahan Pertanian	63
Wilayah Air Minum	64
Wilayah/Kawasan Wisata, Bisnis, Pelabuhan dan Penduduk Lokal	65
Wilayah Suaka	66
Fasilitas Penting	70
 ALOKASI DAN PENETAPAN WILAYAH MINTAKAT KJA DI DANAU TOBA	 73
 ACUAN HUKUM DAN KEBIJAKAN ARAHAN KONSERVASI DANAU	 77
Konvensi International	77
Agenda 21	77
Konvensi Keragaman Hayati	78
Konvensi Ramsar	79
Peraturan/Perundangan Nasional	79
Undang-undang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya	79
Undang-undang Penataan Ruang	80
Undang-undang Sumber Daya Air	81
Undang-undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup	82
Peraturan Pemerintah yang Menetapkan Danau sebagai Kawasan Perlindungan Setempat	82
Undang-undang Perikanan Republik Indonesia	83
Undang-undang Pariwisata	84
 PENUTUP	 87
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	97
DAFTAR ISTILAH	101
BIODATA PENULIS	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kota Parapat, pusat pariwisata di Danau Toba	2
Gambar 2.	Kawasan KJA milik masyarakat di wilayah Haranggaol dan KJA milik PMA di wilayah pantai timur Samosir	3
Gambar 3.	Peta sebaran administrasi kabupaten di kawasan Danau Toba (Tanpa skala).....	4
Gambar 4.	Peta kemiringan lereng DTA Toba	8
Gambar 5.	Peta Tutupan Lahan DTA Toba.....	10
Gambar 6.	Peta aliran sungai di DTA Danau Toba.....	11
Gambar 7.	Pola Regim Aliran Air di Danau Toba	13
Gambar 8a.	Peta batimetri Danau Toba berdasarkan kontur kedalaman.....	14
Gambar 8b.	Peta batimetri Danau Toba berdasarkan gradasi warna	14
Gambar 9.	Luasan wilayah litoral Danau Toba (kedalaman 0–30 m; warna hijau)	18
Gambar 10.	Profil vertikal suhu di Danau Toba kedalaman 0–400 m	19
Gambar 11.	Profil vertikal suhu di Danau Toba kedalaman 0–40 m	20
Gambar 12.	Profil vertikal kadar oksigen terlarut di perairan Danau Toba	21
Gambar 13.	Kadar TP yang terukur di beberapa sungai yang menjadi inlet Danau Toba.....	24
Gambar 14.	Kadar TN yang terukur di beberapa sungai yang menjadi inlet Danau Toba.....	24
Gambar 15.	Status trofik Danau Toba berdasarkan kadar TN dan TP pada tahun 2009	26
Gambar 16.	Status trofik di wilayah tepian Danau Toba berdasarkan kadar TN dan TP	26
Gambar 17.	Status trofik Danau Toba berdasarkan tingkat kecerahan dan kadar klorofil <i>a</i>	27

Gambar 18.	Status trofik wilayah tepian Danau Toba berdasarkan kecerahan dan klorofil <i>a</i>	28
Gambar 19.	Pola distribusi kelimpahan vertikal kelimpahan fitoplankton di Danau Toba.....	30
Gambar 20.	Ikan <i>Neolissochilus thienemanni</i>	31
Gambar 21.	Aktivitas penyeberangan ke Pulau Samosir dengan feri di Ajibata (kiri) dan kapal penumpang di Tiga Raja (kanan)	35
Gambar 22.	Peta sebaran kawasan wisata dan potensi wisata di Danau Toba.....	37
Gambar 23.	Bagan jaring angkat alat tangkap ikan bilih di Danau Toba.....	38
Gambar 24.	Peta sebaran KJA di Danau Toba.....	39
Gambar 25.	Titik pengambilan (<i>intake</i>) air baku PDAM di Kota Balige.....	40
Gambar 26.	Peta sebaran <i>intake</i> pemanfaatan air Danau Toba sebagai sumber air oleh PDAM	41
Gambar 27.	Marak (<i>blooming</i>) fitoplankton yang sering terjadi di Danau Maninjau sebagai dampak penyuburan perairan.....	44
Gambar 28.	Fluktuasi harian oksigen terlarut di Teluk Bongas, Waduk Saguling Mewakili muka air tinggi (Juni 1995) dan Mewakili muka air rendah (Desember 1995).....	48
Gambar 29.	Distribusi vertikal kadar oksigen terlarut di Danau Toba bagian utara	49
Gambar 30.	Kerangka analitik potensi pengembangan budi daya ikan sistem KJA.....	59
Gambar 31.	Habitat burung air di Simanindo, Samosir	67
Gambar 32.	Peta lokasi suaka perikanan di Danau Toba.....	69
Gambar 33.	Realisasi penebaran (<i>restocking</i>) ikan pada 2008 di Danau Toba.....	69
Gambar 34.	Suaka perikanan Panahatan yang dimanfaatkan untuk pengembangan KJA	70
Gambar 35.	Peta Pelabuhan dan Pelayanan Feri di Danau Toba	71
Gambar 36.	Fasilitas penting yang perlu dilindungi dari aktivitas KJA. PLTA Renun dan pelabuhan penyeberangan	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Luasan dan persentase kemiringan lereng di DTA Toba.....	8
Tabel 2.	Komposisi tutupan lahan di DTA Toba	10
Tabel 3.	Luas lahan pertanian di setiap kabupaten di DTA Toba.....	11
Tabel 4.	Karakteristik morfometri Danau Toba	15
Tabel 5.	Perhitungan luasan dan volume cekungan utara dan selatan Danau Toba	15
Tabel 6.	Status trofik Perairan Danau Toba berdasarkan kriteria fosfor	23
Tabel 7.	Komposisi fitoplankton di Danau Toba, April 2009.....	29
Tabel 8.	Jenis-jenis ikan yang terdata di Danau Toba.....	31
Tabel 9.	Jenis-jenis hewan bentik yang ditemukan di perairan Danau Toba	32
Tabel 10.	Jenis-jenis tumbuhan air yang ditemukan di perairan Danau Toba	33
Tabel 11.	Data desa/dusun di seputar Danau Toba dengan potensinya.....	37
Tabel 12.	Sebaran aktivitas dan ukuran KJA di perairan Danau Toba	39
Tabel 13.	Data produksi ikan dari KJA di perairan Danau Toba, 2010.....	40
Tabel 14.	Prediksi pasokan P dari aktivitas KJA di wilayah perairan Danau Toba.....	46
Tabel 15.	Penetapan daya dukung perairan danau toba untuk pengembangan KJA dengan beberapa skenario TP rata-rata yang dapat diterima Danau Toba.....	61
Tabel 16.	Panjang garis pantai perairan danau dari setiap kabupaten di Seputar Danau Toba	63
Tabel 17.	Luas dan proporsi lahan pertanian di setiap kabupaten di wilayah Danau Toba.....	64
Tabel 18.	Proporsi dusun/desa dan jumlah penduduk di Danau Toba yang tidak memiliki potensi dan aktivitas bisnis, wisata, dan pelabuhan	66
Tabel 19.	Lokasi-lokasi suaka perikanan di perairan Danau Toba	68

Tabel 20. Faktor koreksi penetapan prosentasi (%) jumlah KJA di setiap wilayah kabupaten di kawasan Danau Toba.....	73
Tabel 21. Perhitungan alokasi jumlah KJA (unit) untuk setiap kabupaten di kawasan Danau Toba berdasarkan berbagai kriteria	74
Tabel 22. Perhitungan alokasi jumlah KJA untuk setiap kabupaten di kawasan Danau Toba berdasarkan berbagai kriteria dengan faktor koreksi dari luas lahan pertanian	75

PENGANTAR PENERBIT

SEBAGAI PENERBIT ILMIAH, LIPI Press memiliki tanggung jawab untuk mencerdaskan kehidupan bangsa melalui penyediaan terbitan ilmiah yang berkualitas. Buku ilmiah dengan judul *Danau Toba: Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman Lingkungan dari Pengembangan Karamba Jaring Apung* ini telah melewati mekanisme penjaminan mutu, termasuk proses penyuntingan dan penelaahan oleh Dewan Editor LIPI Press.

Dalam buku ini diangkat isu yang terkait dengan kebutuhan utama manusia, yaitu pangan. Danau Toba menyediakan pangan dalam bentuk protein hewani yang berasal dari ikan, baik ikan yang hidup bebas di danau maupun ikan yang sengaja dibudidayakan di dalam karamba jaring apung (KJA). Selain itu, meningkatnya kegiatan budi daya melalui KJA yang mencapai ribuan unit di perairan Danau Toba sering menjadi sumber konflik kepentingan dalam pemanfaatan ruang yang ada.

Dalam buku ini ditawarkan solusi yang berbasis pendekatan ilmiah agar pemanfaatan Danau Toba di sektor perikanan dapat tetap berlangsung dengan meminimalkan dampak negatif, seperti pengaturan zona-zona pemanfaatan dan sekaligus memberikan peluang sektor lain untuk tetap dapat memanfaatkan Danau Toba. Dengan demikian, buku ini patut dibaca dan dimanfaatkan sebagai informasi serta solusi agar Danau Toba dapat tetap didayagunakan untuk kemaslahatan umat dan ekosistem sepanjang masa.

Harapan kami, semoga buku ini dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang pengelolaan ekosistem perairan darat khususnya ekosistem danau di Indonesia. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

LIPi Press

PRAKATA

TIDAK ADA KALIMAT indah yang terlintas dalam pikiran penulis untuk mengawali prakata ini, selain pujian yang tinggi kepada Allah Swt. atas segala kebaikan-Nya yang diterima penulis dari perjalanan karier sebagai peneliti untuk mampu mengekspresikannya dalam sebuah buku. Berikutnya ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) melalui Pusat Penelitian (Puslit) Limnologi, tempat penulis berkarier, yang memberi kesempatan dan dukungan penelitian di berbagai danau di Indonesia, khususnya di Danau Toba sebagai penunjang utama penyusunan buku ini. Selanjutnya, kepada rekan-rekan di Puslit Limnologi disampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya atas dukungan dan partisipasinya untuk berbagai penelitian yang penulis laksanakan.

Buku *DANAU TOBA: Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman Lingkungan dari Pengembangan Karamba Jaring Apung* ini berisi kompilasi hasil penelitian, baik dari hasil karya penulis maupun peneliti lain, dan dokumen-dokumen terkait Danau Toba dari berbagai lembaga serta pemikiran bagaimana suatu kegiatan seperti karamba jaring apung (KJA) yang dipastikan berdampak untuk dapat diminimalkan.

Buku ini masih jauh dari sempurna, tetapi suatu karya tulis harus tetap disusun dengan segala keterbatasannya untuk menggugah pemikiran-pemikiran lain yang lebih baik sehingga terbangun

konsep-konsep yang lebih baru, terutama terkait di dalam pengelolaan danau yang menjadi fokus kajian penulis. Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi bahan rujukan, baik bagi masyarakat maupun pemangku kepentingan di Danau Toba untuk pengelolaannya di masa yang akan datang.

KATA PENGANTAR

TERBITNYA BUKU *Danau Toba: Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman Lingkungan dari Pengembangan Karamba Jaring Apung* merupakan salah satu sumbangan referensi atas minimnya buku tentang danau yang dimiliki oleh Indonesia. Bila dibandingkan dengan jumlah danau di Indonesia yang mencapai 840 danau besar dan kecil atau 500-an danau besar dan sedang, sudah sepantasnya bila buku ini mendapat apresiasi. Buku ini sangat berharga sebagai sumber informasi yang dapat dimanfaatkan oleh berbagai pihak yang berkepentingan, baik secara langsung maupun tidak dengan keberadaan danau.

Danau Toba merupakan satu dari 15 danau prioritas program pemerintah untuk menyelamatkan ekosistem danau di Indonesia dari kepunahan akibat kerusakan. Peran Danau Toba sebagai danau terluas di Indonesia tidak dimungkiri lagi sangat penting untuk menunjang kehidupan manusia, baik masyarakat lokal maupun mancanegara. Hal ini sesuai dengan visi danau dunia bahwa permasalahan danau di suatu negara merupakan masalah juga bagi negara lain. Visi Danau Dunia (*World lake Vision*) mengajak semua pihak untuk melakukan tindakan nyata guna menjamin kesehatan danau sebagai sumber utama sekaligus penampung sumber daya air dunia yang tersedia secara mudah bagi manusia dan sumber bahan pangan. Selain itu, juga sebagai mata pencaharian yang memanfaatkan sumber daya di danau dengan sebaik-baiknya demi keberlanjutan kepentingan manusia dan alam, baik di masa kini maupun yang akan datang.

Isu utama yang diangkat dalam buku ini terkait dengan kebutuhan utama manusia, yaitu pangan. Dalam hal ini, Danau Toba menyediakan pangan dalam bentuk protein hewani yang berasal dari ikan, baik ikan yang hidup bebas di danau maupun ikan yang sengaja dibudidayakan di dalam karamba jaring apung (KJA). Kelayakan kualitas air danau sebagai tempat hidup ikan membuat kegiatan budi daya di perairan Danau Toba meningkat sehingga jumlah KJA yang diusahakan mencapai ribuan unit. Hal ini yang sering menjadi sumber konflik kepentingan dalam pemanfaatan ruang Danau Toba.

Dalam buku ini ditawarkan solusi berbasis pendekatan ilmiah agar pemanfaatan Danau Toba di sektor perikanan dapat tetap berlangsung dengan meminimalkan dampak negatif dengan mengatur zona-zona pemanfaatan dan sekaligus memberikan peluang sektor-sektor lain untuk tetap dapat memanfaatkan Danau Toba. Dengan demikian, buku ini patut dibaca dan dimanfaatkan sebagai informasi serta solusi yang diberikan agar Danau Toba dapat tetap didayagunakan untuk kemaslahatan umat dan ekosistem sepanjang masa.

Sebagai penutup, kami mengucapkan selamat dan penghargaan yang tinggi kepada Ir. Lukman, M.Si., yang telah menulis buku ini berdasarkan hasil-hasil penelitiannya, semoga buku ini dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang pengelolaan ekosistem perairan darat khususnya ekosistem danau di Indonesia.

Cibinong, 25 Juli 2013

Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani

PENDAHULUAN

PERAIRAN DANAU, sebagaimana perairan umum lain, memiliki karakteristik spesifik yang menyangkut sifat milik bersama masyarakat (*common property*), kebijakan dan kepentingan multisektoral, serta adanya beragam wilayah administrasi. Karakteristik lainnya adalah faktor sensitivitas terhadap beban masukan nutrien dan mineral sebagai dampak kegiatan manusia, terkait tipe badan air dan komunitas plasma nutfah yang sangat bervariasi.

Danau hanya dapat memberikan keuntungan sosial yang optimal jika kebijakan pengelolaannya terintegrasi, mengakui pengaturan sepenuhnya dari kontribusi potensial danau yang dapat dibuat untuk masyarakat, dan memberikan perhatian yang seimbang pada seluruh nilai-nilai yang dapat diberikan (Klessig, 2001). Selain kontribusinya terhadap lingkungan, danau juga memiliki nilai-nilai terkait aspek estetika, pendidikan, peluang ekonomi, keamanan emosional, budaya, kebebasan individu, dan spiritual. Dengan demikian, untuk memperluas konseptualisasi nilai-nilai danau dan implementasi perencanaan pengelolaan yang terintegrasi, penting sekali melibatkan aspek dan kepentingan penduduk di dalamnya.

Danau Toba adalah perairan daratan yang memiliki peran multi-sektoral, baik kepentingan masyarakat lokal maupun kepentingan yang bersifat nasional, bahkan mungkin internasional. Danau Toba dan kawasan sekitarnya merupakan objek pariwisata yang sudah dikenal di mancanegara. Berdasarkan kebijakan nasional kawasan Danau Toba

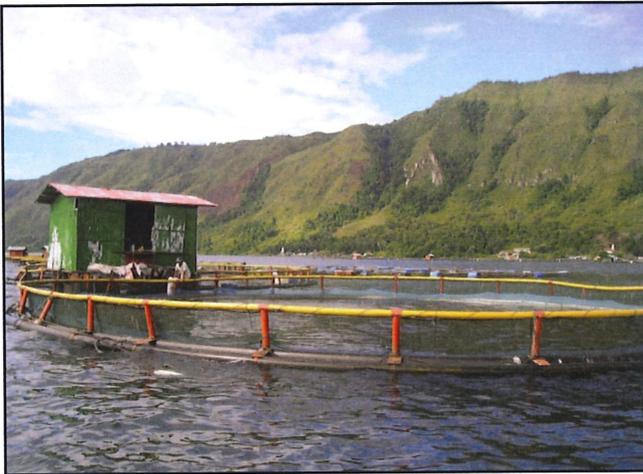
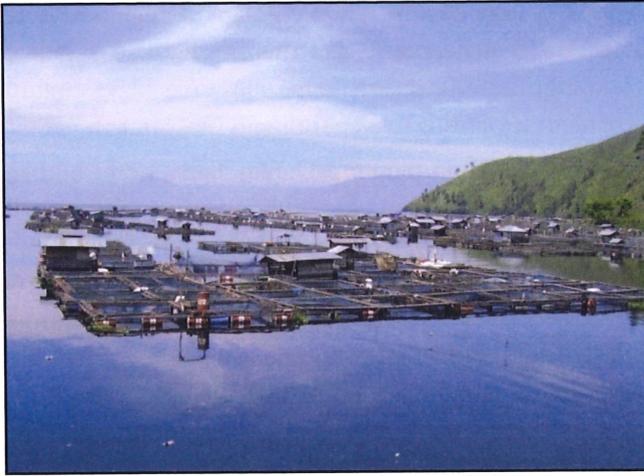


Gambar 1. Kota Parapat, pusat pariwisata di Danau Toba. (Foto: Lukman)

menjadi salah satu andalan Rencana Induk Pengembangan Pariwisata Nasional (RIPNAS) (Ardika, 1999).

Potensi sangat besar dari perairan Danau Toba adalah air yang mengalir melalui *inlet* dan telah dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Sigura-gura. Kapasitasnya cukup besar, mencapai 286 Megawatt (MW), dibandingkan PLTA Maninjau yang hanya 68 MW, dan telah beroperasi sejak 1982. (*Kompas*, 22 September 2005).

Kegiatan lain yang telah berkembang di perairan Danau Toba adalah usaha perikanan budi daya sistem karamba jaring apung (KJA), yang pertama kali dicoba pada 1988 (Dharma, 1988). Tingkat produksi total ikan dari KJA di perairan Danau Toba pada 2010 tercatat mencapai 47.478 ton dan wilayah produksi yang dominan adalah Kabupaten Samosir (24.420 ton), Kabupaten Toba Samosir (10.372 ton), serta Kabupaten Simalungun (9.807 ton) (Anonim, 2011).

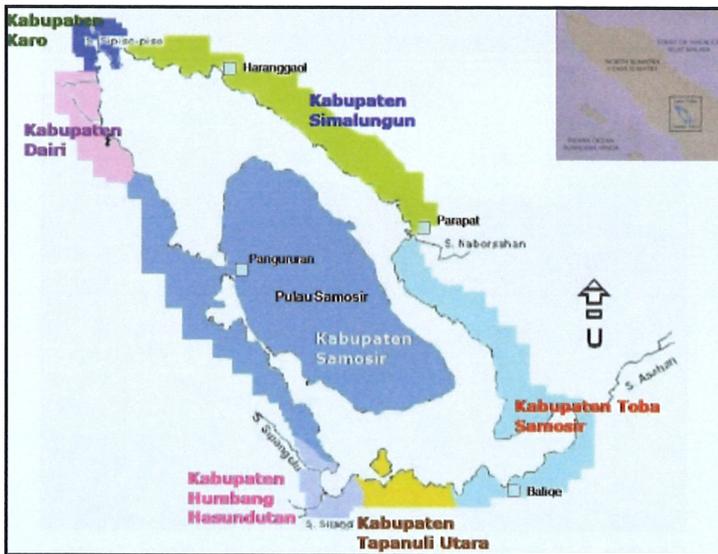


Gambar 2. Kawasan KJA milik masyarakat di wilayah Harang-gaol (atas) dan KJA milik PMA di wilayah pantai timur Samosir (bawah). (Foto: Lukman)

Usaha KJA ini banyak mendapat perhatian masyarakat, terkait kontroversi antara kebutuhan sosial ekonomi dengan kelestarian lingkungan, serta antara pencapaian produksi dengan daya dukung perairan. Jumlah KJA yang telah beroperasi di Danau Toba pada 1999 adalah 2.400 unit, dengan perencanaan yang akan dikembangkan

menjadi 55.375 unit (Arifin, 2004). Pengembangan KJA di suatu perairan akan bernilai positif jika memperhatikan aspek keseimbangan ekologi, berada dalam batas kapasitas daya dukung, dan memperhatikan kepentingan-kepentingan masyarakat.

Dalam pemanfaatan perairan Danau Toba, perlu berbagai pertimbangan yang saksama demi keseimbangan pemanfaatan perairan yang mengacu pada pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Kawasan Danau Toba yang berada di tujuh kabupaten (Gambar 3) perlu menerapkan suatu kebijakan pengelolaan satu tangan (*One lake one management*), untuk mengakomodasi berbagai kepentingan dan menjaga keberlangsungan sistem ekologis danau itu sendiri.



Gambar 3. Peta sebaran administrasi kabupaten di kawasan Danau Toba (Tanpa skala)

Pemahaman mengenai kondisi limnologis perairan suatu danau sangat penting dalam perkembangan masyarakat dewasa ini. Hal ini terkait kerentanan danau terhadap ancaman lingkungan yang makin tinggi sejalan dengan intensitas pemanfaatannya.

Buku ini selain memberikan informasi mengenai karakteristik limnologis Danau Toba dengan beragam pemanfaatannya juga menyajikan informasi mengenai berbagai pertimbangan untuk menetapkan alokasi dan lokasi pengembangan KJA di perairan ini, mengacu pada daya dukungnya untuk produksi ikan dalam KJA dan potensi pemanfaatan lain.

KONDISI LINGKUNGAN PERAIRAN DANAU TOBA

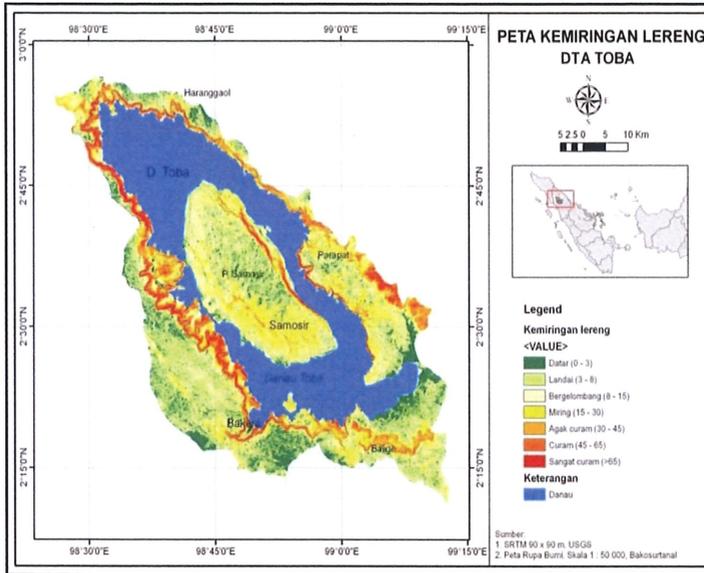
KONDISI DAERAH TANGKAPAN AIR

Bentang alam daerah tangkapan air (DTA) Danau Toba terdiri dari empat kelompok utama, yaitu i) Rangkaian Pegunungan Barisan, ii) Kaki Perbukitan Barisan, iii) Plato Toba, dan iv) Depresi Toba. Rangkaian Pegunungan Barisan memanjang dari arah barat laut-tenggara dengan punggung dan lembah yang tidak teratur, memiliki ketinggian puncak antara 2.000–3.000 m dpl. serta kaki perbukitan dengan puncak yang cukup tinggi, seperti Gunung Kapur (1.095 m), Gunung Dasan (795 m), dan Sinampalu (827 m). Tempat ini diklasifikasikan sebagai perbukitan karena perbedaan ketinggian dibandingkan sekitarnya, bukan ketinggian dari permukaan laut.

Depresi Toba merupakan pusat erupsi dari volkan Toba, dicirikan oleh adanya lereng sangat terjal antara danau dan plato Toba yang mencapai ketinggian 1000 m di bagian barat daya, dan adanya Pulau Samosir.

Wilayah DTA Toba (Gambar 4; Tabel 1) didominasi oleh kelas kemiringan lereng landai (3%–8%) dengan luas area mencapai 74.151 Ha (30%) dari seluruh luas DTA Toba. Distribusinya terdapat di hampir seluruh pinggir danau, terutama di bagian Pulau Samosir.

Kemiringan kedua ditempati oleh kelas agak miring (8–15%) dengan luas daerah mencapai 50.003 Ha atau 20,5% dari total luas DTA. Daerah dengan kemiringan sangat curam hampir dijumpai di sekeliling danau, dengan luas mencapai 11.080 Ha (4,5%).



Sumber: Lukman *et al.* 2010

Gambar 4. Peta kemiringan lereng DTA Toba.

Tabel 1. Luasan dan persentase kemiringan lereng di DTA Toba

No.	Kelas kemiringan lereng	Luas (Ha)	Persentase
1	Datar	37.061	15,2
2	Landai	74.151	30,4
3	Agak miring	50.033	20,5
4	Miring	38.552	15,8
5	Agak curam	17.595	7,2
6	Curam	15.297	6,3
7	Sangat curam	11.028	4,5
Jumlah		24.3717	100,0

Sumber: Lukman *et al.* 2010

Tutupan lahan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kualitas dan kuantitas perairan danau. Di dalam sebuah DTA terdapat berbagai penggunaan lahan, dan kualitas air dari suatu perairan dipengaruhi oleh penggunaan lahan pada DTA tersebut. Pola penggunaan lahan dapat menimbulkan kerusakan dan pencemaran lingkungan apabila pemanfaatannya melampaui batas.

Komposisi tutupan lahan di DTA Danau Toba berupa lahan hutan 23%, dan lahan untuk aktivitas budi daya sekitar 48,6% dari luas DTA. Sebagian besar lahan tersebut merupakan pertanian lahan kering (27,6%) dan lahan terbuka (20,6%) (Gambar 5; Tabel 2). Proporsi pemanfaatan ruang di DTA Danau Toba dengan kawasan hutan yang relatif sempit (<30%), dalam jangka panjang akan berdampak terhadap faktor erosi dan sedimentasi. Sementara itu, aktivitas pertanian sawah akan berdampak terhadap lingkungan perairan danau berupa pasokan fosfor dari sisa-sisa pemupukan. Aktivitas pertanian di wilayah barat Pulau Samosir dan ceruk-ceruk DTA Toba akan lebih berdampak terhadap perairan danau dibanding wilayah pertanian di Balige. Dampak kegiatan pertanian di Balige diduga akan langsung dialirkan menuju *outlet* danau yang berada di sebelah timur wilayah ini.

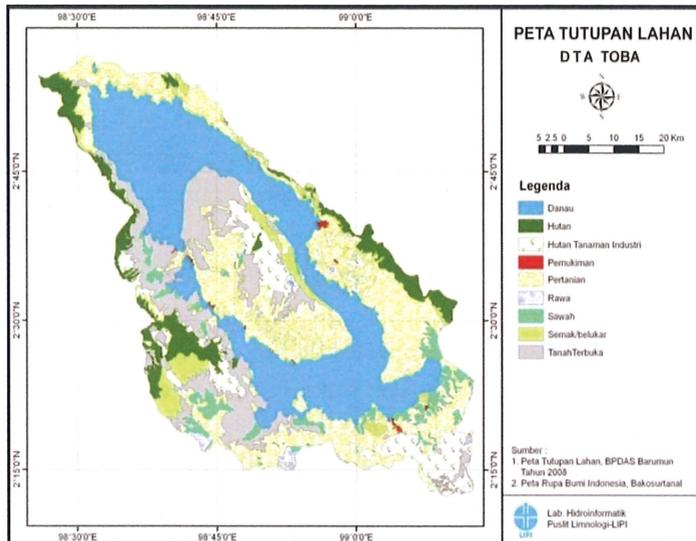
Untuk kegiatan pertanian lahan kering, masyarakat memanfaatkan tempat datar dan di sela-sela bukit berlereng curam, sedangkan pertanian sawah dijumpai di daerah datar atau di sela-sela bukit yang dekat dengan sungai sebagai sumber air. Penggunaan lahan untuk kegiatan pertanian di DTA Danau Toba mencapai 129.448 Ha (Tabel 3) atau sekitar 53% dari luas DTA danau, dengan proporsi tertinggi di wilayah Kabupaten Toba Samosir, mencapai 56.138 Ha.

KONDISI HIDROLOGI

Kondisi hidrologi Danau Toba ditandai dengan air masuk yang berasal dari hujan dan langsung jatuh di perairan danau; serta air dari sungai-sungai yang mengalir ke danau. Di sekeliling danau terdapat 19 Sub DTA utama dari 19 sungai yang mengalir ke dalam danau (Gambar 6).

Pola aliran air di Danau Toba didominasi oleh *inlet* berupa sungai-sungai kecil berjumlah 289 buah. Namun, hanya 71 sungai yang permanen dan sisanya bersifat musiman (*intermitten*). Dari Pulau Samosir mengalir 122 buah sungai, sedangkan dari daratan Sumatera 177 buah (Soedarsono, 1989). Sementara itu, menurut Meigh *et al.* (1990),

terdapat 295 sungai yang mengalir ke Danau Toba. Sebagian besar dari sungai-sungai tersebut memiliki DTA yang relatif kecil dengan luas rata-rata 8,2 km², hanya beberapa yang memiliki DTA dengan luas di atas 100 km².



Sumber: BP DAS Barumon, Departemen Kehutanan

Gambar 5. Peta Tutupan Lahan DTA Toba

Tabel 2. Komposisi tutupan lahan di DTA Toba

Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
Hutan Dataran Rendah	171,8	0,1
Hutan Dataran Tinggi	25.321,6	10,4
Hutan Tanaman Industri	31.452,2	12,9
Pemukiman	876,3	0,4
Pertanian Lahan Kering	67.496,4	27,6
Pertanian Lahan Kering bercampur temak	43.018,2	17,6
Rawa	1.940,2	0,8
Sawah	11.247,9	4,6
Semak/belukar	12.474,8	5,1
Tanah Terbuka	50.374,0	20,6
Jumlah	244.373,5	100,0

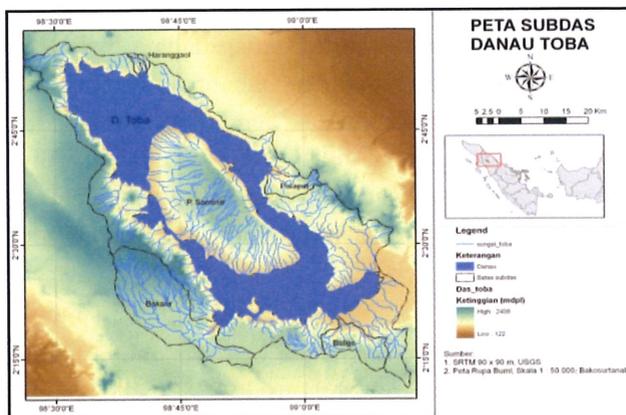
Sumber: BP DAS Barumon, Departemen Kehutanan

Tabel 3. Luas lahan pertanian di setiap kabupaten di DTA Toba

No.	Kabupaten	Luas lahan pertanian (Ha)
1	Toba Samosir	56.138
2	Samosir	48.971
3	Simalungun	12.699
4	Humbang	7.908
5	Dairi	2.062
6	Karo	1.670
Total		129.448

Sumber: Perhitungan dari Peta Rupa Bumi, Bakosurtanal

Pada kondisi hujan normal, debit air dari sungai-sungai tersebut berkisar antara 41,61 m³/dtk (Juli) sampai 124,91 m³/dtk (November). Pada tahun kering (1997), debit aliran ke dalam danau berkisar antara 8,56 m³/dtk (Januari) sampai 62,54 m³/dtk (April). Sedangkan pada tahun basah (1999) berkisar antara 83,53 m³/dtk (Agustus) sampai 493,81 m³/dtk (Mei). Debit pelepasan air rata-rata bulanan berkisar antara 85,47 m³/dtk (November) sampai 94,59 m³/dtk (April). Debit pelepasan maksimum bulanan berkisar antara 107,6 m³/dtk (November) sampai 183,1 m³/dtk (April) dan debit pelepasan minimum bulanan berkisar antara 21,1 m³/dtk (Agustus) sampai 41,7 m³/dtk (September) (Anonim, 2008).



Sumber: Lukman *et al.* 2010

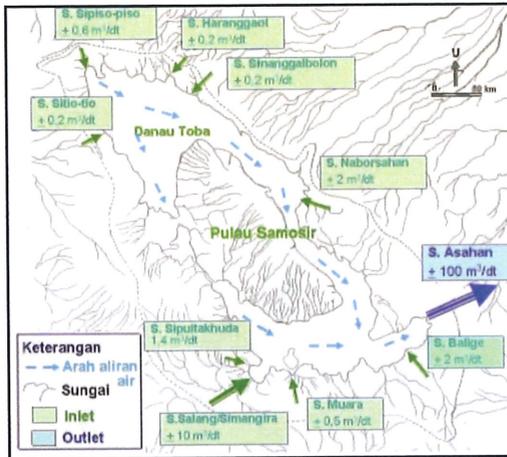
Gambar 6. Peta aliran sungai di DTA Danau Toba

Menurut Meigh *et al.* (1990), rata-rata besar aliran permukaan DTA Toba adalah $78,6 \text{ m}^3/\text{dtk}$ dan mengalir ke sungai-sungai, sedangkan debit keluaran di *outlet* Danau Toba yang teramati di Stasiun Siruar, Sungai Asahan, berada pada kisaran $90 \text{ m}^3/\text{dtk}$ (periode 1976–1988), $104,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$ (periode 1957–1975), dan $110,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$ (periode 1920–1932) (Sastromijoyo, 1990). Debit aliran sungai yang mengalir ke Danau Toba ditandai dengan debit minimum yang rendah, terutama sungai *intermitten*, yaitu antara $0\text{--}2,5 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Namun, terdapat debit maksimum tinggi, seperti Sungai Naborsahan ($25 \text{ m}^3/\text{dtk}$), Siarsik-arsik ($20 \text{ m}^3/\text{dtk}$), Salak ($20 \text{ m}^3/\text{dtk}$), Limbong ($25 \text{ m}^3/\text{dtk}$), bahkan Sungai Silang, yang mencapai $58 \text{ m}^3/\text{dtk}$ (Sudarsono, 1989). Data tersebut menunjukkan debit rata-rata keluaran berada pada kisaran $100 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Dengan demikian, pasokan air ke Danau Toba dari aliran permukaan berada pada kisaran $\pm 20 \text{ m}^3/\text{dtk}$.

Berdasarkan pengamatan sesaat terhadap beberapa sungai di DTA Toba, yang memiliki debit paling besar adalah Sungai Silang ($\pm 10 \text{ m}^3/\text{dtk}$), sedangkan yang memiliki debit sedang adalah Sungai Naborsahan ($\pm 2 \text{ m}^3/\text{dtk}$), Halian ($\pm 2 \text{ m}^3/\text{dtk}$), dan Sipultakhuda ($\pm 1,4 \text{ m}^3/\text{dtk}$). Sungai-sungai tersebut umumnya berada di wilayah selatan danau. *Outlet*-nya sendiri, yaitu Sungai Asahan, juga berada di wilayah selatan danau (Gambar 7).

Menurut Sly (1978), pola aliran sungai akan membentuk pola regim aliran air yang spesifik untuk setiap danau. Hal ini akan berperan terhadap pola dan dinamika bahan pencemar serta bahan sedimentasi dari berbagai aktivitas pemanfaatan, baik di wilayah perairan maupun daratan. Kondisi hidrologi Danau Toba di atas akan menciptakan waktu tinggal air yang berbeda dan harus menjadi pertimbangan dalam pemanfaatannya, terkait tingkat akumulasi pencemar yang berbeda.

Dari pengamatan selama 14 tahun (1986–1999), tercatat tinggi rata-rata permukaan air danau berkisar antara $903,65 \text{ m dpl}$ (September) sampai dengan $904,04 \text{ m dpl}$ (Mei). Tinggi maksimum bulanan berkisar antara $904,62 \text{ m dpl}$ (September) sampai dengan $905,23 \text{ m dpl}$ (Mei). Tinggi minimum bulanan berkisar antara $902,28$



Sumber: Lukman (2011)

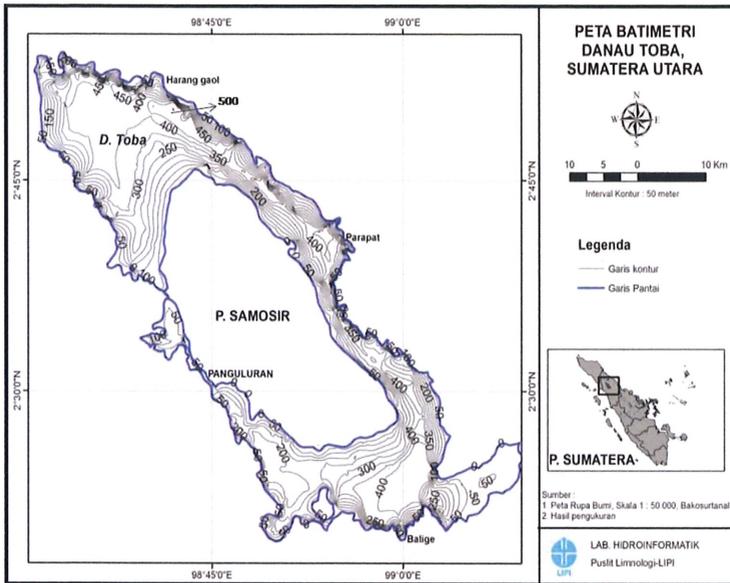
Gambar 7. Pola Regim Aliran Air di Danau Toba

m dpl (Agustus) sampai dengan 902,88 m dpl (Februari). Fluktuasi air danau maksimum (kisaran paling lebar) selama pengamatan adalah 2,95 m (902,28–905,23 m dpl) (Anonim, 2008).

KARAKTERISTIK PERAIRAN DANAU TOBA

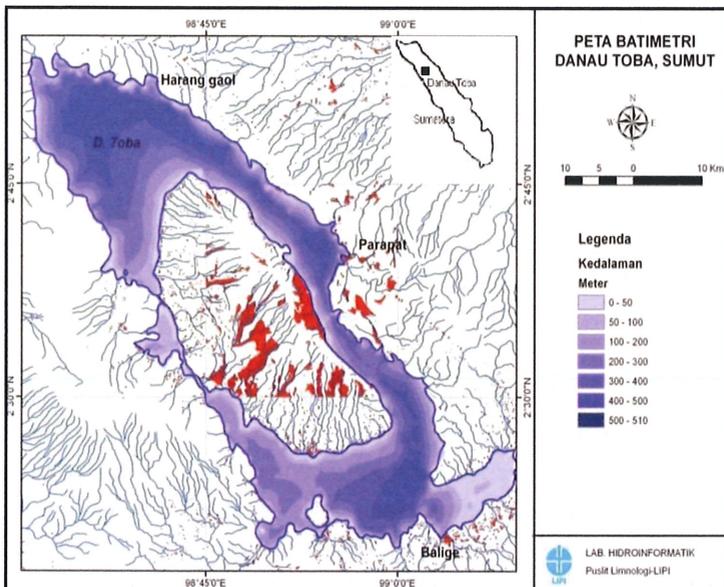
Kondisi Fisik dan Morfometri Danau Toba

Karakteristik morfometrik Danau Toba yang membentang dari barat laut ke tenggara membentuk dua cekungan besar, utara dan selatan, yang dipisahkan oleh Pulau Samosir. Berdasarkan peta batimetri, Danau Toba memperlihatkan cekungan yang dalam di bagian utara, arah barat Haranggaol; dan di bagian selatan, sebelah utara Balige (Gambar 8 a;b). Pengukuran batimetri dan deliniasi citra Landsat memberikan karakteristik morfometri Danau Toba, di antaranya luas permukaan dan panjang garis pantai, serta ciri morfometri lain, yaitu volume dan kedalaman rata-rata (Tabel 4). Kedalaman maksimum Danau Toba berada di cekung utara yang mencapai 508 m, dan yang terdalam dicekung selatan mencapai 420 m. Proses perhitungan juga menghasilkan kedalaman relatif (Z_r) danau 1,34 dan



Sumber: Lukman & Ridwansyah (2010)

Gambar 8a. Peta batimetri Danau Toba berdasarkan kontur kedalaman



Sumber: Lukman & Ridwansyah (2010)

Gambar 8b. Peta batimetri Danau Toba berdasarkan gradasi warna

Tabel 4. Karakteristik morfometri Danau Toba

No.	Parameter	Dimensi	Sumber
1	Luas permukaan (km ²)	1.124	Citra Landsat
2	Keliling (km)	428,7	idem
3	Panjang maksimum (km)	50,2	idem
4	Lebar maksimum (km)	26,8	idem
5	Kedalaman maksimum (m)	508	Peta batimetrik
6	Volume (x 10 ⁹ m ³)	256,2	Peta batimetrik
7	Kedalaman rata-rata (m)	228	Perhitungan
8	Kedalaman relatif (Z _r) (%)	1,34	Perhitungan
9	Luas DTA (km ²)	2.486	Citra Landsat
10	Rasio luasDTA/luas permukaan danau	2,21	Perhitungan
11	Pengembangan garis pantai (SLD)	3,61	Perhitungan

Sumber: Lukman & Ridwansyah (2010)

pengembangan garis pantai (SLD; *Shore line development*) 3,61. Luas daerah tangkapan air (DTA) Danau Toba didapat dari *Automatic Watershed Delineation* (AWD) menggunakan aplikasi hidrologi model SWAT, yaitu 2.486 km². Dengan demikian, rasio luas DTA dan luas genangan danau (A) adalah 2,21.

Cekung Danau Toba bagian utara relatif lebih luas dengan volume lebih besar dibanding cekung selatan (Tabel 5). Kondisi ini diduga akan berpengaruh terhadap proses-proses limnologis di dalamnya. Wilayah selatan diperkirakan lebih dinamis dibandingkan dengan utara, terkait sebaran sungai-sungai yang menjadi *inlet* danau yang dominan di wilayah selatan dan *outlet* danau, yaitu Sungai Asahan, yang juga berada di selatan. Implikasi yang jelas dari kondisi

Tabel 5. Perhitungan luasan dan volume cekungan utara dan selatan Danau Toba

Wilayah Cekungan	Luas (km ²)*	Proporsi Luas (%)	Volume ** (x 10 ⁹ m ³)	Proporsi Volume (%)
Utara	586,16	52,15	155,67	60,8
Selatan	537,84	47,85	100,52	39,2
Total	1.124, 00	100	256,19	100

Sumber: Lukman & Ridwansyah (2010)

Keterangan: *) Pengukuran berdasarkan Citra Landsat, **) Pengukuran berdasarkan data batimetri

tersebut adalah waktu tinggal air di cekungan utara diperkirakan akan lebih panjang.

Luas Danau Toba hasil pengukuran ini tidak berbeda jauh dengan hasil pengukuran Ruttner (1955), yaitu 1129,7 km², dan kedalaman maksimum 529 m yang juga berada di cekung utara dekat Haranggaol. Meskipun demikian, terdapat indikasi penurunan kedalaman maksimum sekitar 21 m dalam rentang waktu 55 tahun. Pendangkalan merupakan suatu proses alami, namun perbedaan tersebut dapat juga terjadi karena perbedaan metode pengukuran.

Berdasarkan debit air rata-rata di *outlet* danau (100 m³/dtk) dan volume danau 256,2 x 10⁹ m³, Danau Toba memiliki waktu tinggal air 81,24 tahun. Waktu tinggal air ini cukup panjang dibandingkan Danau Maninjau (25 tahun) (Fakhrudin *et al.* 2001) dan Danau Poso (7,21 tahun) (Lukman & Ridwansyah, 2009). Menurut Rausch & Heinemann, Bombowna *et al. dalam* Petts (1984), waktu tinggal air akan memberikan peranan yang cukup signifikan terhadap proses yang terjadi di danau, di antaranya efisiensi perangkapan sedimen dan nutrisi.

Berdasarkan tingkat kedalaman relatifnya ($Z_r = 1,34\%$), Danau Toba mencirikan perairan tidak stabil. Menurut Wetzel (1983), sebagian besar danau memiliki nilai $Z_r < 2\%$. Nilai ini menunjukkan tingkat stabilitas rendah. Pengembangan garis pantai (D_l) adalah gambaran potensi dan peranan wilayah tepian dalam hubungannya dengan kesuburan danau. Semakin panjang garis pantainya, semakin besar nilai D_l . Menurut Welch (1952), makin panjang garis pantai, makin besar produktivitas danau. Garis pantai di antaranya akan berkontribusi terhadap luasan kontak perairan dan daratan, serta luasan dari wilayah litoral danau.

Kondisi morfometri akan memberikan karakteristik spesifik perairan danau, seperti waktu tinggal air yang dapat menggambarkan berbagai potensinya, baik sebagai sumber air maupun potensi produksi hayati, serta menentukan tingkat kepekaan terhadap pengaruh beban material dari DTA. Terkait kepentingan untuk

pemanfaatannya, kondisi morfometrik yang ada menciptakan wilayah-wilayah yang bervariasi dengan tingkat kelayakan yang berbeda.

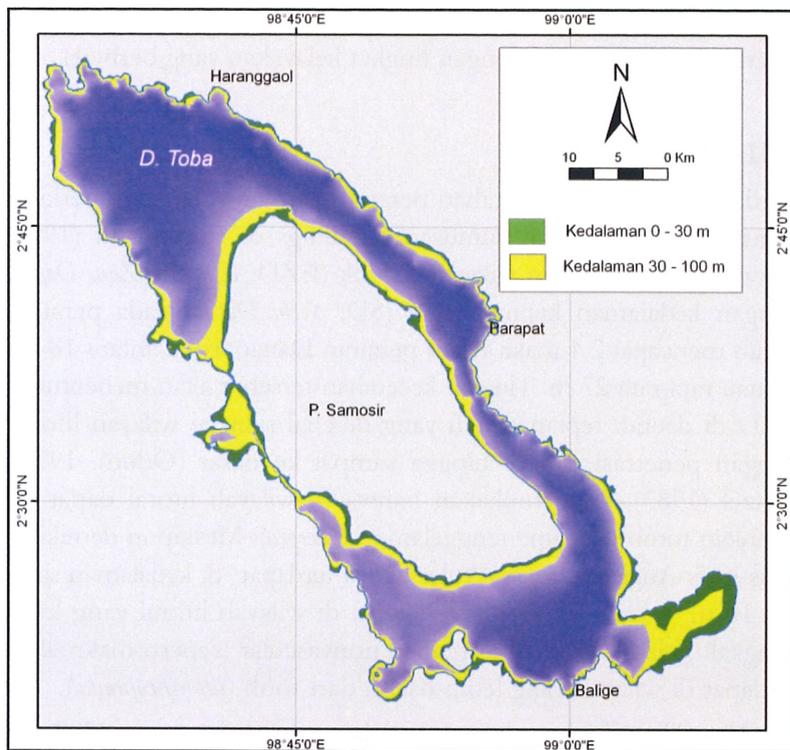
WILAYAH LITORAL

Berdasarkan tingkat kecerahan perairan Danau Toba yang berkisar antara 7,5–14,9 m dan rumusan Koenings & Edmunson (1991) bahwa rasio kedalaman wilayah eufotik (EZD; *Euphotic Zone Depth*) dengan kedalaman keping Sechi (SD; *Sechi Depth*) pada perairan jernih mencapai 2,4 maka EZD perairan Danau Toba antara 18–36 m atau rata-rata 27 m. Tingkat kecerahan tersebut akan menentukan EZD di daerah tepian danau yang dikenal sebagai wilayah litoral, dengan penetrasi cahaya hingga sampai ke dasar (Odum, 1971). Wetzel (1983) mengemukakan bahwa di wilayah litoral dapat ditemukan tumbuhan tipe tenggelam (*submerged*). Meskipun demikian, jenis-jenis Angiosperma vaskuler hanya terdapat di kedalaman sampai 10 m (tekanan hidrostatis 1 atm) di wilayah litoral yang lebih dangkal (*infralitoral*), dan tumbuhan nonvascular (seperti makroalga) terdapat di wilayah yang lebih dalam dari fotik (*littoriprofundal*).

Jika dibandingkan dengan kedalaman maksimumnya (508 m), proporsi kedalaman eufotik Danau Toba sangat rendah, sedangkan luasan wilayah litoral, tepian dengan kedalaman hingga 30 m diperkirakan mencapai 10,64 km² atau 0,95% dari seluruh luasan (1.124 km²) perairan Danau Toba (Lukman & Ridwansyah, 2010). Luas wilayah litoral Danau Toba yang relatif sempit terkait dengan kondisi batimetri yang cenderung curam. Wilayah litoral yang cukup lebar tampak tersebar di tepian landai, seperti di utara Pulau Samosir dan di sisi tenggara danau (Gambar 9).

Tingginya kecerahan, selain menunjukkan kondisi oligotrofik dan kelimpahan fitoplankton yang rendah, juga terkait dengan kondisi morfometri Danau Toba yang cukup dalam dapat mengurangi terjadinya difusi serta suspensi kembali material yang sudah mengendap.

Pada umumnya, kedalaman eufotik adalah wilayah produktif yang menunjang pertumbuhan fitoplankton di perairan terbuka dan



Sumber: Lukman (2011)

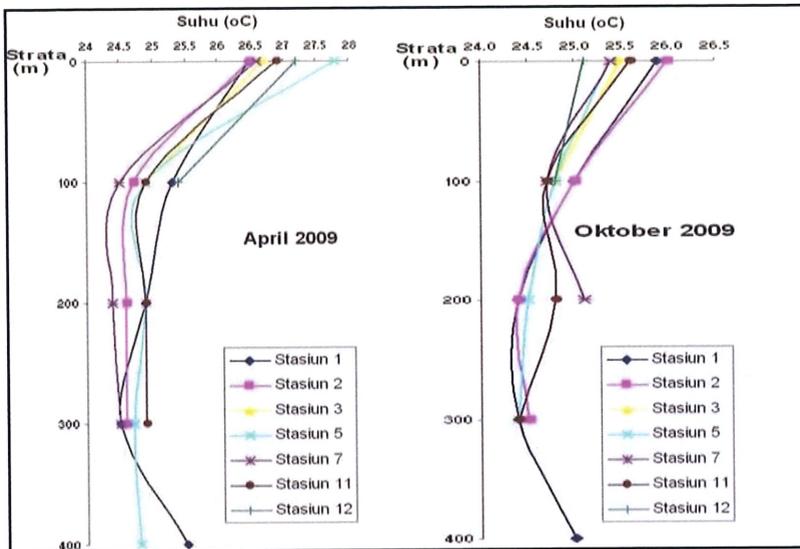
Gambar 9. Luasan wilayah litoral Danau Toba (kedalaman 0–30 m; warna hijau)

di tepian membentuk wilayah littoral. Litoral merupakan salah satu pemasok energi kehidupan di perairan danau, di antaranya merupakan tempat berkembangnya tumbuhan air tenggelam dan komunitas biota makrobenthik.

Menurut Babler *et al.* (2008), wilayah littoral Danau Crampton memberikan pasokan produktivitas bentik tahunan lebih dari 65% produksi seluruh danau. Wilayah litoral tidak hanya menyediakan sebagian besar ketersediaan produksi sekunder, tetapi juga menawarkan kondisi yang layak untuk habitat ikan dan wilayah pemijahannya dengan ketersediaan pakan yang melimpah, serta oksigen dan suhu optimal.

PROFIL SUHU PERAIRAN

Profil suhu pada April 2009 di perairan Danau Toba cenderung stabil pada kedalaman ≥ 100 m, dengan penurunan bertahap dari antara $26\text{--}28^\circ\text{C}$ di permukaan hingga pada kisaran $24\text{--}25^\circ\text{C}$ di kedalaman 100 m dan selanjutnya stabil (Gambar 10).

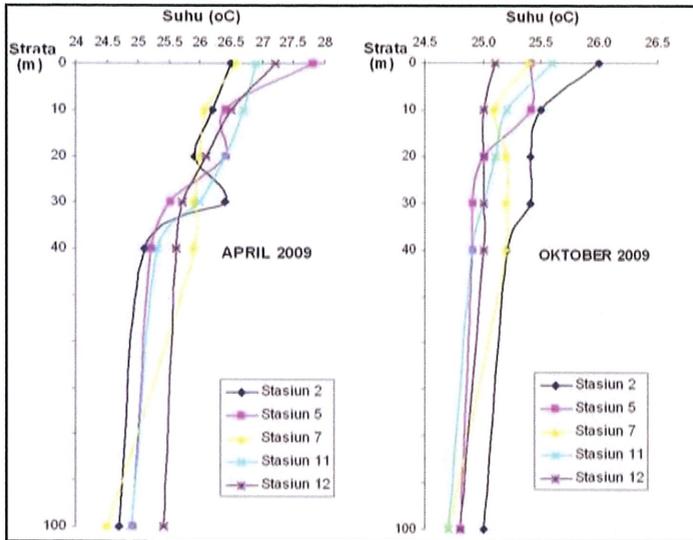


Sumber: Lukman & Ridwansyah (2010)

Gambar 10. Profil vertikal suhu di Danau Toba kedalaman 0–400 m

Profil vertikal suhu di kedalaman 0–40 m menunjukkan pola lebih beragam (Gambar 11). Tampaknya, hal ini dipengaruhi oleh kondisi cuaca permukaan, pola pengadukan, dan diperkuat oleh faktor kelimpahan plankton atau material tersuspensi lain.

Mengacu pada profil vertikal suhu tersebut diperkirakan lapisan epilimnion berada pada kedalaman 0–30 m, metalimnion pada kedalaman 30–100 m, dan hipolimnion pada kedalaman ≥ 100 m. Pernyataan bahwa Danau Toba mencirikan perairan tidak stabil ($Z_r = 1,34\%$) dan mengalami pengadukan diperkirakan berlangsung pada kolom air antara 1–100 m.



Sumber: Lukman & Ridwansyah (2010)

Gambar 11. Profil vertikal suhu di Danau Toba kedalaman 0–40 m

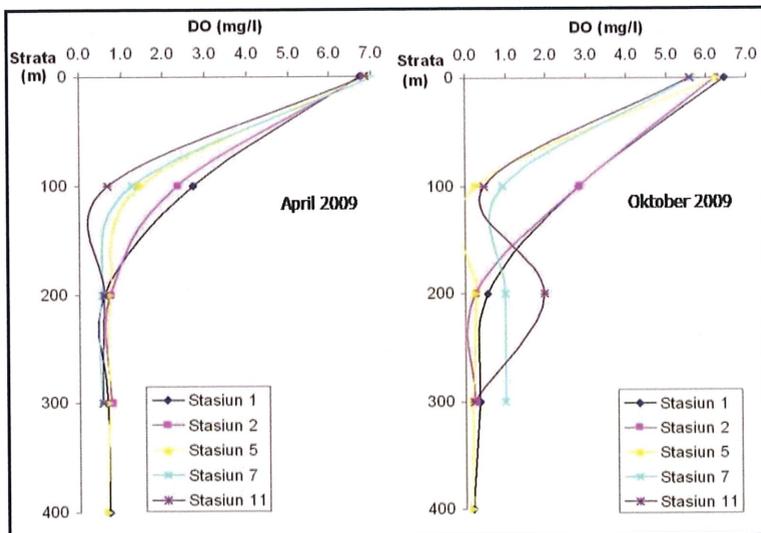
Sesuai skema Hutchinson dan Löffler, kondisi Danau Toba termasuk tipe oligomiktik, yaitu pada sebagian besar waktu dalam setahun berlangsung stratifikasi suhu, namun terdapat pendinginan pada interval tidak tentu dan periode sirkulasi jarang. Stratifikasi suhu cenderung permanen, namun dinamis di bagian permukaan. Hal ini sejalan dengan pernyataan Stevens & Lawrence (1997) yang menyatakan bahwa dengan tidak adanya tutupan es, kombinasi pemanasan matahari, pendinginan, dan dorongan angin menciptakan lapisan permukaan yang relatif tercampur (epilimnion), terpisah dari lapisan dingin yang relatif tenang (hipolimnion) oleh suatu lapisan metalimnion (*thermocline*).

KETERSEDIAAN OKSIGEN TERLARUT

Kadar oksigen terlarut di permukaan relatif tinggi (6–7 mg/l), namun menurun drastis pada kedalaman 100 m dan menunjukkan kondisi sangat minim (≤ 2 mg/l) pada kedalaman 200 m dan seterusnya

(Gambar 12). Kondisi ini terkait dengan proses fotosintesis yang berlangsung di permukaan perairan, khususnya di wilayah eufotik (kedalaman 0–30 m). Pada kedalaman 100 m dan seterusnya adalah proses respirasi yang intensif dan berlangsungnya perombakan bahan organik yang juga meluas.

Kadar oksigen terlarut di lapisan hipolimnion memungkinkan untuk lebih rendah dibanding epilimnion, karena respirasi di sekitar sedimen akan lebih intensif. Sementara itu, pencampuran air dari permukaan ke bagian dalam dibatasi oleh stratifikasi panas yang di wilayah iklim sedang pencampuran pada umumnya terjadi di musim panas (Miranda *et al.* 2001).



Sumber: Lukman & Ridwansyah (2010)

Gambar 12. Profil vertikal kadar oksigen terlarut di perairan Danau Toba

Penenggelaman dan perombakan lebih lanjut bahan organik ini merangsang deplesi oksigen di perairan bagian dalam. Oksigen dikonsumsi selama respirasi dan remineralisasi bahan organik, nitrifikasi, dan reaksi redoks. Aktivitas respirasi sendiri dapat dibagi di antara respirasi basal (istirahat) yang dikaitkan dengan biosintesis dari biomassa dan mendukung perilaku. Remineralisasi bahan organik mengonsumsi

oksigen, baik secara langsung melalui respirasi oksik maupun secara tidak langsung melalui oksidasi berbagai metabolit, misalnya Mn(II), Fe(II), dan S(-II) (Pena *et al.* 2010). Lebih lanjut, Welsh & Eller (1991) mengemukakan bahwa stratifikasi suhu, sebagaimana terjadi di Danau Toba, dapat meningkatkan deplesi oksigen terlarut di wilayah dasar karena kebutuhan oksigen pada kolom air dan sedimen.

KONDISI KUALITAS AIR

Tingkat keasaman (pH) perairan Danau Toba cenderung basa ($>7,0$), kekeruhan rendah (<3 NTU), kecuali di satu lokasi di bagian utara pada April 2009 mencapai 18 NTU, dan konduktivitas antara 0,154–0,162 mS/cm. Kondisi pada Maret 2010, pH cenderung basa, kekeruhan rendah, dan konduktivitas antara 0,160–0,166 mS/cm (Lukman, 2011).

Tingkat kekeruhan perairan yang rendah diduga berhubungan dengan sangat sedikitnya aliran sungai-sungai yang menjadi *inlet*-nya. Jika mengacu pada baku mutu air bersih (Peraturan MenKes RI No. 416/IX/90) atau untuk melindungi kehidupan akuatik (US-EPA), yaitu ≤ 25 NTU, maka tingkat kekeruhan perairan Danau Toba masih cukup baik dan layak. Tingkat konduktivitas perairan Danau Toba berada pada kisaran sedang.

Informasi tingkat kesuburan (status trofik) perairan Danau Toba diketahui sejak “Sunda Expedition” pada 1929, yaitu oligotrofik (miskin hara) (Ruttner, 1930; 1932). Kondisi pada 1979 sudah menunjukkan mesotrofik (Soerjani *et al.* 1979) dan pada 2005, kadar TP $> 0,1$ mg/l (Poernomo *et al.* 2005) mencirikan kondisi hipereutrofik. Pada 2009, tingkat kesuburan Danau Toba berkisar antara oligotrof hingga hipereutrof, dan rata-rata menunjukkan kondisi mesotrofik (Tabel 6). Perubahan status kesuburan tersebut tidak terlepas dari pasokan hara, baik dari DTA Danau Toba maupun dari aktivitas manusia di perairannya.

Mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) nomor 82 tahun 2001 tentang Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kelas air

Tabel 6. Status trofik Perairan Danau Toba berdasarkan kriteria fosfor

Tahun	Kriteria	Nilai Kisaran (Rataan) (mg/l)	Status Trofik	Sumber	Kelas** (TP; mg/l)
1929	Fosfor (PO ₄ -P)	0,005	Oligotrofik	Ruttner (1930)	
1979	Fosfor (PO ₄ -P)	0,03–0,07	Mesotrofik	Soerjani <i>et al.</i> (1979)	I = 0,2 II = 0,2
1985	Total Fosfat (TP)	0,32–0,66	Hipereutrofik	ILEC & UNEF (1989)	III = 1 IV = 5
2005	Total Fosfat (TP)	0,29–0,68 (0,547)	Hipereutrofik	Poernomo <i>et al.</i> (2005)	
2009	Total Fosfat (TP)	0,005–0,116 (0,025)	Oligo-hipertrofik (mesotrofik)	Nomosatryo & Lukman (2011)	
2010	Total Fosfat (TP)*	0,013–0,399 (0,089)	Meso-hipertrofik (Eutrofik)	Lukman <i>et al.</i> (2010)	

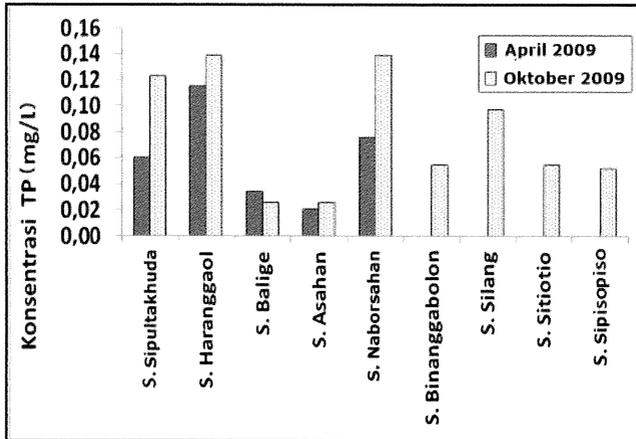
Keterangan: *) wilayah tepian; **) Kelas Kualitas Air (PP nomor 82 tahun 2001)

Danau Toba berdasarkan kadar TP berada pada kelas I ($\leq 0,2$ mg/) hingga kelas III ($> 0,2$ mg/l). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat wilayah-wilayah yang sudah tidak memenuhi syarat sebagai sumber air baku.

Pasokan hara dari *inlet* Danau Toba pada beberapa sungai terpilih sangat bervariasi. Kadar TP tertinggi di Sungai Naborsahan dan Haranggaol, diikuti Sipultakhuda dan Silang, sedangkan kadar TP terendah didapatkan di Sungai Sipiso-piso, Binangabolon, dan Sitiotio. Kadar TP yang terukur di *outlet* Danau Toba yaitu Sungai Asahan dan berada pada kisaran 0,021–0,026 mg/l (Gambar 13). Kadar TN yang memasuki perairan Danau Toba menunjukkan bahwa sungai-sungai Sipultakhuda, Naborsahan, dan Haranggaol juga cenderung tinggi. Sedangkan kadar TN terendah teramati di Sipiso-piso dan Sitiotio (Gambar 14).

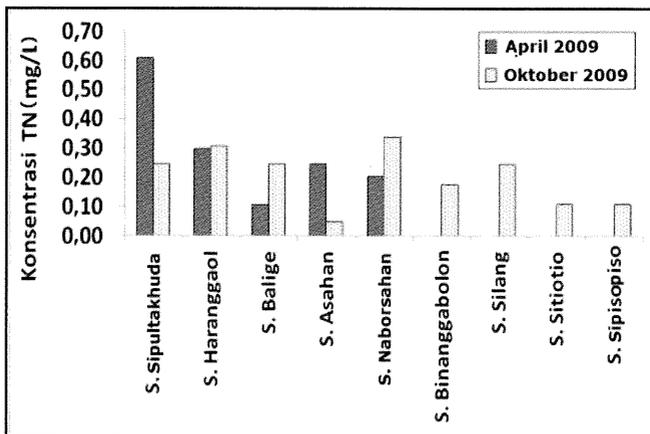
Kadar TP dan TN yang tinggi berasal dari sungai-sungai yang melewati pemukiman penduduk dan pemanfaatan lahan yang tinggi. Sungai Naborsahan mengalir di kawasan Parapat, sedangkan Sungai Silang dan Sipultakhuda adalah sungai yang melintasi wilayah budi daya.

Secara horizontal, kadar TP di kolom air permukaan pada April 2009 berkisar antara 0,005 mg/l–0,116 mg/l dan pada Oktober 2009 pada kisaran 0,008 mg/l–0,071 mg/l. Sedangkan kadar TN pada pengamatan April 2009 antara 0,013 mg/l–0,108 mg/l dan pada pengamatan Oktober 2009 antara 0,074–0,451 mg/l. Kadar TP



Sumber: Nomosatryo & Lukman (2011).

Gambar 13. Kadar TP yang terukur di beberapa sungai yang menjadi *inlet* Danau Toba



Sumber: Nomosatryo & Lukman (2011).

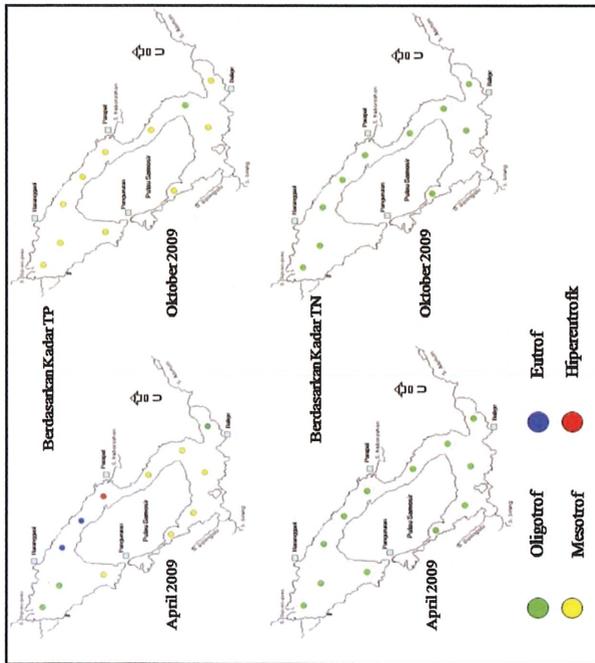
Gambar 14. Kadar TN yang terukur di beberapa sungai yang menjadi *inlet* Danau Toba

dan TN yang tertinggi didapatkan di Haranggaol, salah satu lokasi pengembangan KJA. Kadar rata-rata TP adalah antara 0,022–0,028 mg/l dan TN antara 0,055–0,186 mg/l (Nomosatryo & Lukman, 2011).

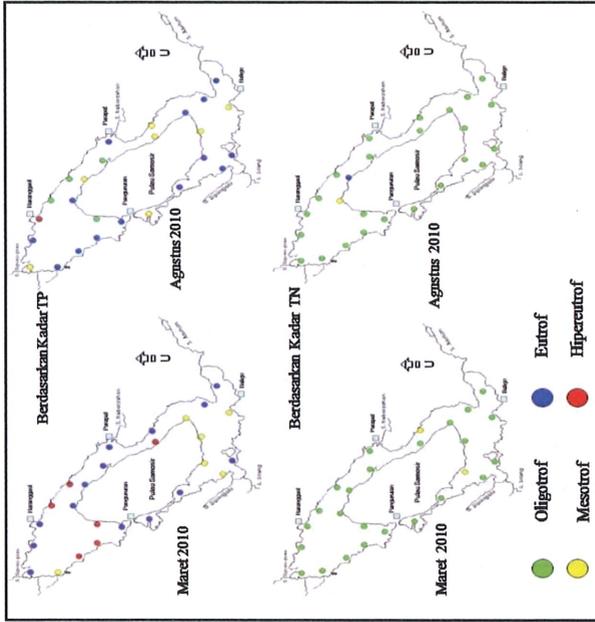
Komponen nitrogen di perairan Danau Toba cenderung sebagai faktor pembatas pertumbuhan alga karena memiliki rasio N:P <7, dengan rasio (berdasarkan berat) pada kisaran 0,88–20,9 (Nomosatryo & Lukman, 2011). Mengacu pada rasio TN/TP, "*Redfield ratio*" menunjukkan ketersediaan unsur N di perairan jauh lebih rendah dari ketersediaan unsur P (Redfield, 1958 *dalam* Nöges *et al.* 2008). Hal ini sejalan dengan pernyataan Lewis (2000) bahwa di perairan tropik terbatasnya komponen N lebih umum terjadi dibanding P. Kemungkinan hal ini terjadi karena pasokan P yang lebih besar akibat pelapukan kimia batuan, sementara terjadi kehilangan komponen N secara internal karena suhu yang lebih tinggi.

Status trofik perairan Danau Toba pada April dan Oktober 2009 hingga bagian tengah, seperti dikemukakan sebelumnya, mengacu pada ketentuan status trofik perairan Peraturan Menteri LH nomor 28/2009, berada pada kisaran oligotrofik hingga hipereutrofik (Gambar 15). Kadar TP di wilayah utara pada April 2009 berada pada kondisi oligotrofik (< 0,01 mg/l), namun di wilayah Parapat memiliki kondisi hipereutrofik (\geq 0,10 mg/l). Pada Oktober 2009, kondisi perairan Danau Toba secara umum berada pada status mesotrofik (>0,01 mg/l). Sementara itu, pada 2010, status trofik Danau Toba di wilayah tepian berdasarkan kadar TP berada pada kisaran oligotrofik hingga hipereutrofik, dan berdasarkan kadar TN pada kisaran oligotrofik hingga mesotrofik (Gambar 16).

Wilayah tepian Danau Toba tampak sangat rentan terhadap pencemaran dari daratannya, terutama di seputar Haranggaol, di utara Pangururan, dan sebelah timur Pulau Samsisir. Kondisi peningkatan hara dari komponen TP tampak terjadi pada Maret 2010 jika dibandingkan dengan kondisi Agustus 2010.



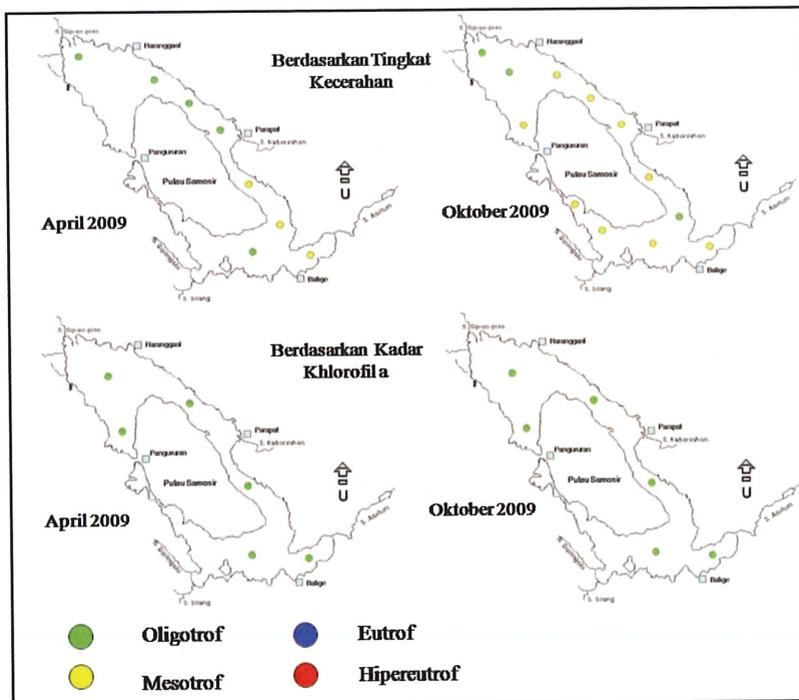
Sumber: Diolah dari data Nomosatryo & Lukman (2011)
Gambar 15. Status trofik Danau Toba berdasarkan kadar TN dan TP pada tahun 2009



Sumber: Diolah dari data Lukman *et al.* (2010)
Gambar 16. Status trofik di wilayah tepian Danau Toba berdasarkan kadar TN dan TP

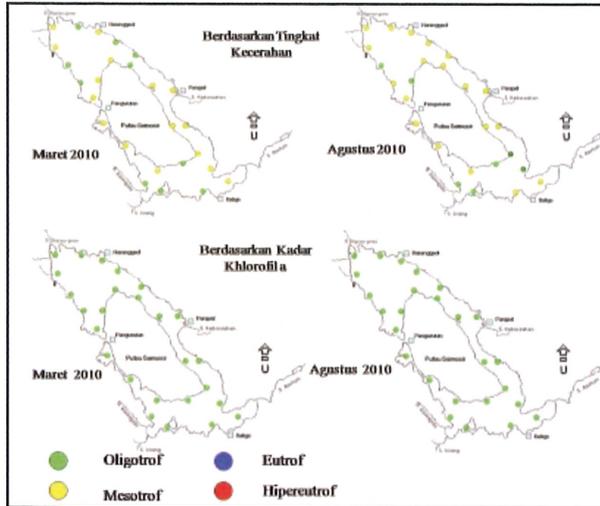
Berdasarkan kecerahan perairan dan kadar klorofil menunjukkan status trofik danau oligotrofik hingga mesotrofik (Gambar 17 dan 18). Tingginya kadar TP tidak menjadi hara bagi fitoplankton sehingga kelimpahannya rendah. Hal ini ditandai dengan kadar klorofil yang rendah.

Hal ini terkait dengan kadar ortofosfat di lapisan permukaan yang rendah (0,012 mg/l) serta kadar TN yang juga rendah (Nomo-satryo & Lukman, 2011). Namun, kadar TP yang tinggi menunjukkan adanya kontaminasi yang tinggi dari aktivitas antropogenik.



Sumber: Diolah dari data Lukman *et al.* (2009)

Gambar 17. Status trofik Danau Toba berdasarkan tingkat kecerahan dan kadar klorofil *a*.



Sumber: Diolah dari data Lukman *et al.* (2010)

Gambar 18. Status trofik wilayah tepian Danau Toba berdasarkan kecerahan dan klorofil *a*.

KOMUNITAS BIOTA

Plankton

Komunitas fitoplankton disusun oleh kelas-kelas *Chlorophyceae* (11 jenis), *Chrysophyceae* (9 jenis), *Cyanophyceae* (4 jenis), dan *Phyrrrophyceae* (1 jenis) (Tabel 7), dengan kelimpahan berkisar antara 20–400 ind/l. Jumlah jenis rendah dan tidak ada jenis dominan yang menunjukkan kondisi perairan tidak subur (Sulawesty, 2011).

Kelas *Chlorophyceae* didominasi oleh desmid, seperti *Cosmarium contractum* dan jenis-jenis *Staurastrum*, sedangkan *Chrysophyceae* jenis yang banyak dijumpai adalah *Synedra ulna* dan *Melosira granulata*. Pola distribusi vertikal fitoplankton pada umumnya menunjukkan kelimpahan rendah pada permukaan dan maksimum pada kedalaman 20 m (Gambar 19).

Profil vertikal kelimpahan fitoplankton tersebut merupakan pola yang umum di perairan. Hal ini berhubungan dengan intensitas cahaya yang berlebih di permukaan yang menghambat proses fotosintesis (*photoinhibition*) (Wetzel, 1983).

Tabel 7. Komposisi fitoplankton di Danau Toba, April 2009

CHLOROPHYCEAE			
Klas			
Famili	Chlorococcales	Zygnematales	Ulothrichales
Jenis	<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Cosmarium contractum</i>	<i>Ulothrix variabilis</i>
	<i>Dictyosphaerium</i> sp.	<i>Staurastrum acanthastrum</i>	<i>Ulothrix zonata</i>
	<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Staurastrum brachiatum</i>	
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Staurastrum multispiniceps</i>	
		<i>Staurastrum prionotum</i>	
CYANOPHYCEAE			
Klas			
Famili	Chroococcales	Nostocales	Oscillatoriales
Jenis	<i>Gloeocapsa</i> sp.*	<i>Anabaena viguieri</i>	<i>Oscillatoria borneyi</i>
	<i>Microcystis aeruginosa</i> *		
CHRYSTOPHYCEAE			
Klas			
Famili	Pennales	Centrales	PYRROPHYCEAE
Jenis	<i>Cymbella tumida</i>	<i>Melosira granulata</i>	<i>Peridinium</i> sp.
	<i>Navicula radiata</i>		
	<i>Navicula falaisiensis</i>		
	<i>Navicula lacustris</i>		
	<i>Nitzschia linearis</i>		
	<i>Pinnularia nobila</i>		
	<i>Synedra acus</i>		
	<i>Synedra ulna</i>		

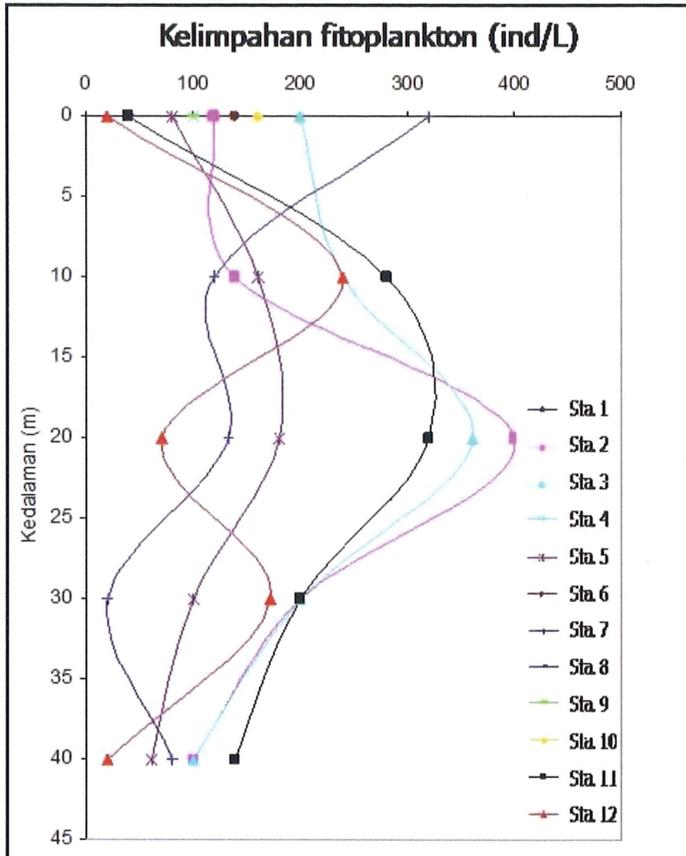
Keterangan: *koloni

Sumber: Sulawesty (2011)

Ikan

Berdasarkan berbagai publikasi, komunitas ikan Danau Toba yang terdata mencapai 18 jenis (Soerjani *et al.* 1979), sedangkan yang ditemukan Kartamihardja (1987) sebanyak 13 jenis dan beberapa ikan introduksi baru (Tabel 8). Jenis-jenis introduksi seperti ikan mujair dan ikan mas dimasukkan ke Danau Toba, masing-masing pada 1940 dan 1937 (Sarnita, 1999).

Saat ini, ikan yang cukup melimpah adalah ikan bilih, yang merupakan ikan introduksi dan berasal dari Danau Singkarak. Ikan ini ditebarkan pertama kali pada 2003 oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (Kartamihardja & Sarnita, 2008). Introduksi ini dilakukan sebagai upaya pemulihan populasi ikan karena terjadi krisis populasi



Sumber: Sulawesty (2011).

Gambar 19. Pola distribusi kelimpahan vertikal kelimpahan fitoplankton di Danau Toba

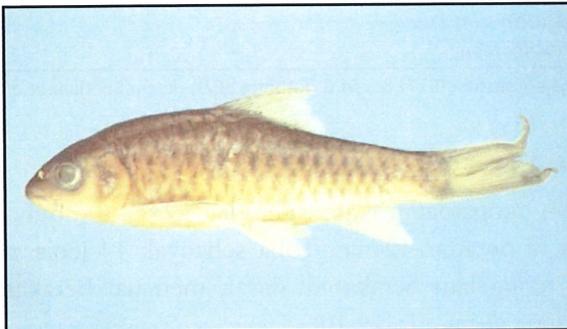
ikan asli, seperti menurunnya kelimpahan ikan pora-pora (*Puntius binotatus*) sebagai dampak penurunan kualitas lingkungan dan dampak biologis dari penebaran ikan introduksi lain seperti mujair.

Ikan spesies *Neolissochilus (Lissochilus) thienemanni* (Gambar 20) diketahui hanya ditemukan di Danau Toba (Kottelat *et al.* 1993). Dengan demikian, ikan ini merupakan ikan endemik, namun keberadaannya sudah tidak diketahui. Menurut Suwelo *et al.* (1986),

Tabel 8. Jenis-jenis ikan yang terdata di Danau Toba

No.	Nama lokal	Nama latin	Soerjani et al (1979)	Kartamihardja (1987)
1	Mujair, Jahir	<i>Oreochromis mossambicus</i>	+	+
2	Mas	<i>Cyprinus carpio</i>	+	+
3	Lele, Sibahut	<i>Clarias batrachus</i> <i>C. nieuhoft</i>	+	+
4	Batak, Jurung,Ihan*	<i>Lissochilus</i> sp. <i>Labeobarbus soro</i> <i>Neolissochilus thienemanni</i> ^[a]	+	-
5	Bulan-bulan, Asak	<i>Osteochillus hasselti</i>	+	+
6	Pora-pora, undalap	<i>Puntius binotatus</i>	+	+
7	Paitan	<i>P. gonionotus</i> <i>P. javanicus</i>	-	+
8	Harunting	<i>Ophiocephalus striatus</i> <i>O. micropeltes</i>	+	+
9	Itok	<i>Channa gachua</i>	+	-
13	Kalui	<i>Osphronemus goramy</i>	+	+
14	Sepat	<i>Trichogaster trichopterus</i>	+	+
15	Insor	<i>Nemachilus fasciatus</i>	+	+
16	Siburicak; Mangiring	<i>Rasbora jacobsoni</i> ^[b]	+	+
18	Ikan bunting	<i>Lebistes reticulatus</i>	+	+
19	Kepala timah	<i>Aplocheilus panchax</i>	+	-
20	Nila [c]	<i>Oreochromis niloticus</i>	-	-
21	Bilih [d]	<i>Mystacoleucus padangensis</i>	-	-
22	Betutu [e]	<i>Oxyelotris marmorata</i>	-	-

Keterangan: + = ada; - = tidak ada; [a] Kottelat *et al.* (1993); [b] Pada Soerjani *et al.* (1979) hanya sebagai *Rasbora* sp.; [c] Tjahjo *et al.* (1998); [d] Kartamihardja & Sarnita (2008); [e] Pengamatan penulis.



Sumber: Kottelat *et al.* (1993)

Gambar 20. Ikan *Neolissochilus thienemanni*

ikan spesies *Lissochilus* sp., merupakan ikan langka yang hanya ditemukan di Danau Toba. Dugaan penulis, ada kemungkinan spesies *N. thienemanni* ini adalah ikan batak atau yang dikenal masyarakat sebagai ikan. Meskipun demikian, berdasarkan informasi Kottelat *et al* (1993) ikan yang bernilai penting bagi masyarakat Batak untuk upacara adat adalah *Tor (Labeobarbus) soro* yang juga ditemukan di kolam-kolam keramat di Kuningan, Jawa Barat.

Hewan Bentik

Komunitas hewan bentik di Danau Toba, terutama dari jenis-jenis moluska air tawar, yang terdata keberadaannya ada sembilan jenis (Tabel 9). Di antara jenis moluska, terdapat jenis endemik Danau Toba, yaitu remis *Corbicula tobae* Von Matens, 1900 (Djajasmita, 1977).

Tabel 9. Jenis-jenis hewan bentik yang ditemukan di perairan Danau Toba

No.	Jenis	Publikasi Terdahulu *	Soerjani <i>et al.</i> (1979)
1.	<i>Brotia costula</i>	+	+
2.	<i>Thiara scabra</i>	+	+
3.	<i>Melanoides tuberculata</i>	-	+
4.	<i>M. granifera</i>	+	+
5.	<i>Anentome helena</i>	+	+
6.	<i>Lymnaea berrispira</i>	+	-
7.	<i>L. rubiginosa</i>	+	+
8.	<i>Physastra sumatrana</i>	+	-
9.	<i>Corbicula tobae</i>	+	+

Sumber: *) Djajamisatra (1977) & van B. Jutting (1959) dalam Soerjani *et al.* (1979)

Tumbuhan Air

Berdasarkan pengamatan Kartamihardja (1987), tumbuhan air yang ditemukan di perairan Danau Toba sebanyak 14 jenis, terdiri dari jenis-jenis tenggelam berakar di dasar, mencuat berakar di dasar, dan tipe mengapung (Tabel 10).

Tabel 10. Jenis-jenis tumbuhan air yang ditemukan di perairan Danau Toba

No.	Genus	Sifat
1.	<i>Potamogeton</i>	tenggelam, berakar di dasar
2.	<i>Myriophyllum</i>	tenggelam, berakar di dasar
3.	<i>Najas</i>	tenggelam, berakar di dasar
4.	<i>Ceratophyllum</i>	tenggelam, berakar di dasar
5.	<i>Utricularia</i>	tenggelam, berakar di dasar
6.	<i>Hydrilla</i>	tenggelam, berakar di dasar
7.	<i>Nitella</i>	tenggelam, berakar di dasar
8.	<i>Chara</i>	tenggelam, berakar di dasar
9.	<i>Nymphaea</i>	mencuat, berakar di dasar
10.	<i>Nelumbium</i>	mencuat, berakar di dasar
11.	<i>Eichornia</i>	mengapung
12.	<i>Azolla</i>	mengapung
13.	<i>Lemna</i>	mengapung
14.	<i>Spirodella</i>	mengapung

Sumber: Kartamihardja (1987)

PEMANFAATAN WILAYAH EKOSISTEM DANAU TOBA

AKTIVITAS MANUSIA yang memanfaatkan wilayah Danau Toba, baik di daratan maupun perairan, cukup beragam dan memiliki intensitas tinggi. Pertambahan penduduk dan peningkatan ekonomi masyarakat di wilayah ini telah mendorong pemanfaatan sumber daya semakin intensif. Kegiatan-kegiatan tersebut pada saatnya akan menjadi ancaman bagi kelestarian ekosistem Danau Toba.

Pemanfaatan wilayah daratan terutama untuk pengembangan perkotaan yang sudah cukup tinggi, seperti kota Parapat, Kota Balige, Kota Pangururan, serta pemukiman-pemukiman lain seperti Haranggaol, Ajibata, dan Tongging. Parapat merupakan kota utama jalur menuju pelabuhan penyeberangan feri di Ajibata dan penyeberangan kapal penumpang di Tiga Raja (Gambar 21).



Gambar 21. Aktivitas penyeberangan ke Pulau Samosir dengan feri di Ajibata (kiri) dan kapal penumpang di Tiga Raja (kanan). (Foto: Lukman)

Di seputar tepian Danau Toba tercatat ada 147 desa/dusun, dengan kepadatan penduduk mencapai 25.087 kepala keluarga (KK) (Sitompul *et al.* 2007). Berbagai aktivitas penduduk berpotensi mengancam kelestarian ekosistem danau, baik dari limbah domestik maupun aktivitas yang tidak memperhatikan lingkungan.

Kegiatan masyarakat di DTA Danau Toba sebagian besar adalah pertanian yang memanfaatkan lereng-lereng bukit. Komoditas yang dibudidayakan adalah tanaman tahunan seperti kemiri, kopi, kelapa, mangga, serta tanaman palawija seperti bawang, jagung, dan cabe. Kegiatan lain adalah pemanfaatan dataran yang berada di lembah-lembah sungai dengan komoditas padi di lahan pesawahan.

Saat ini, wilayah Danau Toba merupakan pusat pariwisata di Sumatera Utara. Daya tarik utamanya adalah panorama hamparan air yang biru, yang menjadikan danau ini sebagai objek wisata danau terbesar di Indonesia. Data kunjungan wisata antara 1990–1995 sekitar 500 ribu orang per tahun, dan 20 persen di antaranya adalah wisatawan mancanegara (Dinas Pariwisata DT II Simalungun, 1996, *tidak diterbitkan*). Sekarang ini, kunjungan wisata, khususnya dari mancanegara, disinyalir mengalami penurunan.

Terkait dengan pengembangan kepariwisataan, dari 147 dusun/desa yang tersebar di seputar Danau Toba, 15 di antaranya merupakan kawasan wisata dan bisnis yang juga menunjang pariwisata seperti Parapat, Balige, dan Panguruan; 12 lokasi memiliki potensi wisata yang belum dikembangkan; dan lainnya adalah desa/dusun tidak terkait dengan kepariwisataan (Tabel 11). Secara keseluruhan, ada 27 lokasi yang perlu diberikan perhatian dalam pemanfaatan kawasannya, terutama wilayah perairan, untuk menjaga agar kondisinya tetap alami. Dengan demikian, kegiatan pariwisata dan pengembangannya dapat terus didukung (Gambar 22).

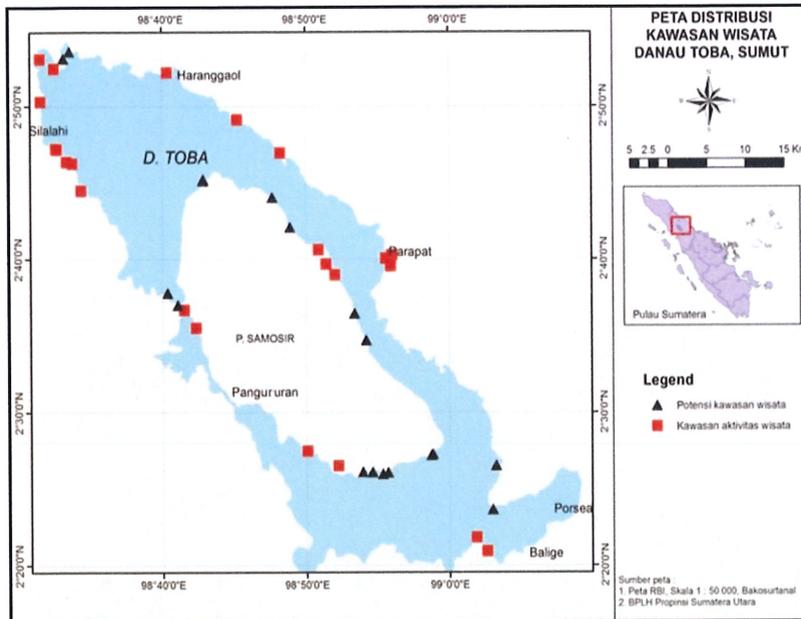
Pemanfaatan perairan Danau Toba yang juga sudah berjalan adalah usaha perikanan tangkap, telah tercatat sejak 1950-an (Soerjani *et al.* 1979). Tingkat tangkapan ikan dominan sebelum introduksi ikan bilih adalah mujaer (69,1%), diikuti oleh ikan nila (22,4%), nilem

(bulan-bulan) (3,0%), ikan mas (2,4%), dan sepat (3,0%) (Tjahjo *et al.* 1998). Berdasarkan data 2005, produksi tangkapan total ikan di Danau Toba mencapai 4.462 ton, dengan ikan mujair (*Oreochromis*

Tabel 11. Data desa/dusun di seputar Danau Toba dengan potensinya

No.	Kabupaten	Desa/Dusun Wisata & Bisnis		Desa/Dusun Potensi Wisata		Desa/Dusun Tidak Berpotensi Wisata		Total Dusun/Desa	
		Jumlah	KK	Jumlah	KK	Jumlah	KK	Jumlah	KK
1	Samosir	7	2.169	7	1.139	63	9.868	77	13.176
2	Simalungun	2	1.723	3	1.118	17	1.679	22	4.520
3	Toba Samosir	3	427	2	408	20	1.582	25	2.417
4	Tapanuli Utara	1	371	-	-	10	1.399	1	1.770
5	Hbg. Hasundutan	-	-	-	-	4	1.236	4	1.236
6	Karo	1	297	-	-	4	535	5	832
7	Dairi	1	926	-	-	2	210	3	1.136
Jumlah		15	5.913	12	2.665	120	16.509	147	25.087

Sumber: Diolah dari data Sitompul *et al.* (2007)



Sumber: Diolah dari data Sitompul *et al.* (2007)

Gambar 22. Peta sebaran kawasan wisata dan potensi wisata di Danau Toba

mossambicus) dan ikan nila (*O. Niloticus*) sebagai ikan paling dominan tertangkap (Purnomo *et al.* 2005).

Usaha perikanan tangkap yang saat ini cukup dominan adalah penangkapan ikan bilih (*Mystacoleucus padangensis*). Tingkat produksi pada 2010 diperkirakan mencapai 30.000 ton dan alat tangkap yang umum digunakan adalah bagan jaring angkat (Gambar 23) (Koeshenrajana *et al.* 2010).

Kegiatan budi daya ikan pada KJA di perairan Danau Toba pertama kali dicoba pada 1988 (Dharma, 1988), saat ini kegiatan KJA cukup meluas. Tercatat 50 desa/dusun yang memiliki KJA, milik masyarakat 5.158 unit dan 4 lokasi milik Perusahaan Modal Asing (PMA) berukuran besar dan 1 lokasi dengan 72 unit KJA berukuran kecil (Tabel 12; Gambar 24).

Produksi total ikan dari KJA di Danau Toba pada 2010 mencapai 47.478 ton (Tabel 13), terutama dari tiga kabupaten, yaitu Kabupaten



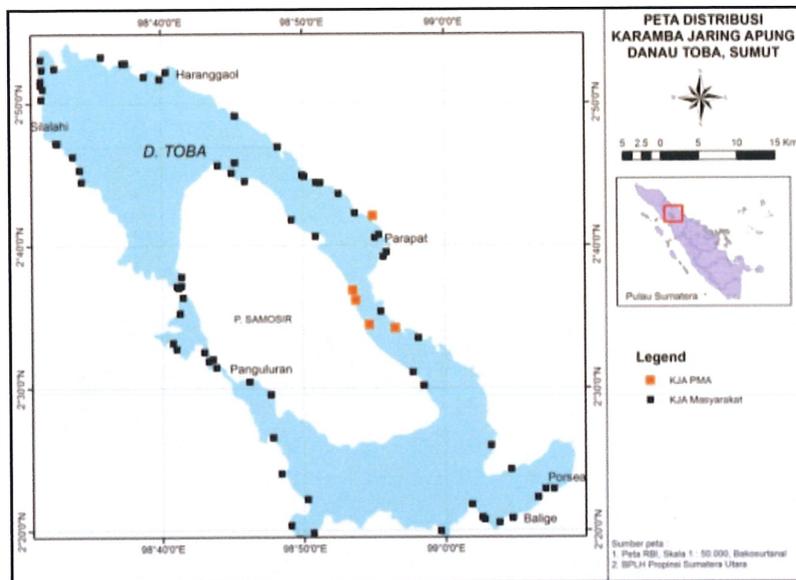
Gambar 23. Bagan jaring angkat alat tangkap ikan bilih di Danau Toba

Tabel 12. Sebaran aktivitas dan ukuran KJA di perairan Danau Toba

No. Ukuran Karamba	Kabupaten/Jumlah Desa, Dusun						Jumlah
	Tobasa	Samosir	Simalungun	Humbang Hasundutan	Dairi	Karo	
	10	20	14	2	3	1	
1 Ukuran besar *	1 lokasi	3 lokasi	-	-	-	-	4 lokasi
2 Tidak diketahui	30	254	774**	12	409	88	1.567
3 5 x 5 x 3 m ³	114		2.500	-	-	-	2.614
4 4 x 4 x 3 m ³	-	400	-	23	-	-	423
5 3 x 3 x 3 m ³	-	3	-	-	-	-	3
6 2 x 2 x 3 m ³	123	-	-	-	-	-	123
7 Karamba bambu	500	-	-	-	-	-	500
Jumlah	767	657	3.274	35	409	88	5.230**

Sumber: Diolah dari data Sitompul *et al.* (2007)

Keterangan: *) Milik PMA; **) Termasuk 72 unit milik PMA (1 lokasi);



Sumber: Diolah dari data Sitompul *et al.* (2007)

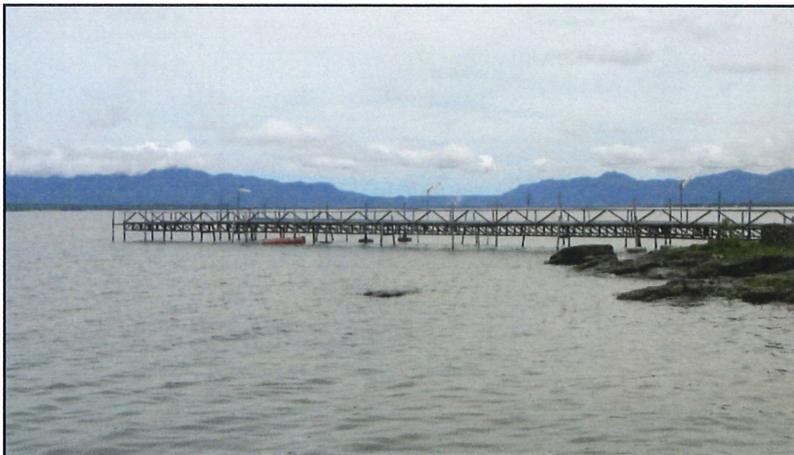
Gambar 24. Peta sebaran KJA di Danau Toba

Samosir (24.420 ton), Toba Samosir (10.372 ton), dan Simalungun (9.807 ton). Dengan mengambil data yang paling logis, yaitu tingkat produksi ikan di Kabupaten Simalungun dan mengasumsikan bahwa ukuran seluruh KJA sama ($5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$) maka produksi rata-rata per karamba adalah 2,995 (≈ 3) ton/tahun.

Tabel 13. Data produksi ikan dari KJA di perairan Danau Toba, 2010

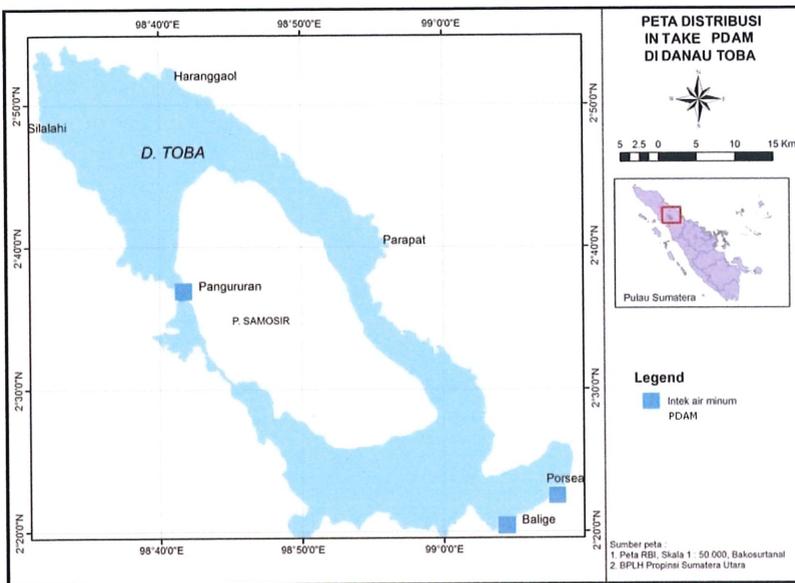
No.	Kabupaten	Nila (ton)	Mas (ton)	Total (ton)
1	Samosir	24.110,3	309,7	24.420,0
2	Toba Samosir	9.894,7	477,5	10.372,2
3	Simalungun	9.017,5	789,2	9.806,7
4	Karo	1.176,5	392,2	1.568,6
5	Humbang Hasundutan	1.092,8	52,5	1.145,3
6	Dairi	62,6*	2,1**	84,7
7	Tapanuli Utara	59,5	16,3	75,8
Total		45.437,0	2.040,9	47.477,9

Sumber: Anonim (2011); *) termasuk produksi ikan mujair; **) termasuk produksi ikan lele



Gambar 25. Titik pengambilan (intake) air baku PDAM di Kota Balige. (Foto: Lukman)

Pemanfaatan perairan Danau Toba yang juga penting adalah sebagai sumber air baku masyarakat. Sebagian besar desa/dusun di seputar danau memanfaatkan air danau secara langsung, baik untuk kebutuhan mandi dan cuci maupun minum. Banyak di antara desa/dusun tersebut yang sangat tergantung pada air danau untuk kebutuhan domestik, karena sumber air dari pegunungan tidak tersedia. Selain itu, di seputar Danau Toba juga terdapat tiga titik pengambilan (*intake*) sumber air baku Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), yaitu di Balige (Gambar 25), Laguboti, dan Pangururan (Gambar 26).



Sumber: Diolah dari data Sitompul *et al* (2007).

Gambar 26. Peta sebaran *intake* pemanfaatan air Danau Toba sebagai sumber air oleh PDAM

SKENARIO ANCAMAN BENCANA LINGKUNGAN DARI PENGEMBANGAN KARAMBA JARING APUNG

KEBIJAKAN PEMANFAATAN sumber daya alam oleh manusia yang tidak memperhatikan kapasitas daya dukung, akan menuai bencana lingkungan di kemudian hari. Contohnya Waduk Saguling di Jawa Barat yang kondisinya sangat parah. Beban yang masuk ke waduk tersebut, baik dari daerah tangkapan air maupun dari kegiatan KJA, telah melampaui daya dukung waduk dilihat dari kemampuan pulihnya (*self recovery*) (Adiwilaga, 1999). Pencemaran sendiri (*self pollution*) yang bersumber dari kegiatan KJA ditandai dengan adanya kematian ikan massal yang sering terjadi seperti di Waduk Saguling pada 1994 yang mencapai 110 ton (Lukman, 1996), di Waduk Cirata 1.040 ton (Danakusumah & Herawan, 2000), dan di Danau Maninjau pada 1997 mencapai 950 ton (Syandri, 2000).

Kematian massal ikan merupakan akibat dari proses yang kompleks sebagai dampak dari akumulasi bahan organik, baik di dasar perairan maupun kolom air. Pada tahap awal, akibat penumpukan bahan organik di dasar perairan adalah pembentukan lapisan anaerobik yang makin besar (Garno & Adibroto, 1999), diikuti oleh terbentuknya senyawaan beracun seperti H_2S dan NH_3 .

MARAK (*BLOOMING*) PLANKTON

Marak (*blooming*) fitoplankton adalah dampak peningkatan hara di kolom air dari sisa pakan dan feses yang mendorong eutrofikasi, sebagaimana terjadi di Waduk Cirata (Garno, 2002). Perhatian

utama melimpahnya fitoplankton adalah terhadap jenis-jenis *Cyanophyceae*, seperti *Myrocystis*. *Cyanophyceae* umumnya berlendir sehingga cenderung mengapung dan menutup permukaan perairan, dan pada saat terjadi kematian menciptakan kondisi anoksik. Di sisi lain, *Cyanophyceae* pada umumnya tidak disukai oleh ikan sebagai sumber pakannya. Kasus yang menonjol proses eutrofikasi yang diduga terkait dengan pengembangan KJA adalah di Danau Maninjau. Kasus ini mengakibatkan terjadinya marak jenis *Myrocystis* (Gambar 27) (Sulastri, 2002). Marak fitoplankton di perairan Danau Toba akan sangat rawan, karena akan mengganggu kepentingan pariwisata.



Gambar 27. Marak (*blooming*) fitoplankton yang sering terjadi di Danau Maninjau sebagai dampak penyuburan perairan. (Foto: Lukman)

Melimpahnya fitoplankton akan sangat terkait dengan kondisi kimia perairan dan didukung oleh keadaan fisiknya. Kondisi kimia perairan terkait kesetimbangan antara hara yang masuk dan keluar, sebagaimana rumusan yang dikemukakan sebelumnya (Vollenweider & Dillon, 1975 *dalam* Mason, 1988). Aktivitas KJA yang berlebih akan memicu akumulasi hara, khususnya fosfor dan nitrogen. Peningkatan hara di perairan pada akhirnya akan mengubah status perairan, dari perairan miskin hara (oligotrof) menjadi kesuburan sedang (mesotrof), hingga perairan subur (eutrof) dan sangat subur (hipereutrof).

Komponen hara di perairan yang lebih berakumulasi adalah fosfor, karena sifatnya tidak bersiklus lewat proses pertukaran gas sebagaimana nitrogen. Di sisi lain, di wilayah tropik ternyata keterbatasan komponen N lebih umum terjadi dibanding P. Kemungkinan hal ini terjadi karena pasokan P yang lebih besar akibat pelapukan kimia batuan, sementara terjadi kehilangan komponen N secara internal karena suhu yang lebih tinggi, sebagaimana dikemukakan sebelumnya (Lewis, 2000).

Sementara itu, berdasarkan tingkat produksi ikan dari KJA di perairan Danau Toba pada 2010 yang mencapai 47.477,9 ton (Tabel 13), dengan estimasi pakan yang digunakan 59.601,9 ton maka kadar P total yang terlepas ke perairan mencapai 445,6 ton. Komponen P ini terbuang lewat feses 150 ton dan dalam bentuk terlarut mencapai 295 ton (Tabel 14).

Perbedaan karakter hara memberikan suatu rasio, sering disebut rasio TN/TP, yang akan memengaruhi pertumbuhan kelompok fitoplankton. Rasio TN/TP ini merupakan "Redfield ratio" (N:P \approx 16: 1 atom; atau 7: 1 berat/massa) yang didapatkan untuk karakteristik plankton dan air laut di samudra seluruh dunia (Redfield, 1958 *dalam* Nöges *et al.* 2008).

Rasio TN/TP juga akan mencerminkan tingkat kesuburan perairan. Danau oligotrof memiliki rasio TN/TP pada kisaran 200, sedangkan danau eutrof pada kisaran 5 (Harris, 1986). Menurut Wetzel (2001), dalam sistem perairan beriklim sedang, rasio TN/TP (dengan berat) yang diperlukan untuk keseimbangan pertumbuhan fitoplankton umumnya lebih besar dari 7: 1. Huisman & Hulot (2005) *dalam* Nöges *et al.* (2008) juga mengemukakan bahwa banyak jenis *Cyanophyceae* mendominasi pada rasio N: P rendah. Hal ini terkait dengan jenis ini yang dapat berkompetisi lebih baik pada nitrogen dibanding jenis lain, karena kemampuannya untuk menyerap N₂.

Tabel 14. Prediksi pasokan P dari aktivitas KJA di wilayah perairan Danau Toba

Jenis ikan	Produksi total (ton) ¹⁾	Estimasi pakan yang digunakan ²⁾	Kadar P pada pakan (ton) ³⁾	Kadar P diretensi ikan (ton) ⁴⁾	Kadar P dibuang lewat feses (ton) ⁴⁾	Kadar P terbuang dalam bentuk terlarut (ton) ⁴⁾	Kadar P total yang terlepas ke perairan (ton)
Nilai	45.437,0	55.887,5 ^{a)}	670,65 ^{c)}	252,84 ^{b)}	140,84 ^{e)}	276,98 ^{f)}	417,80
Mas	2.040,9	3.714,4 ^{b)}	44,57 ^{c)}	16,80 ^{d)}	9,36 ^{e)}	18,41 ^{f)}	27,80
Total	47.477,9	59.601,9	715,22	269,64	150,20	295,39	445,60

Sumber: Lukman & Hamdani (2011)

Keterangan:

- 1) Anonim (2011);
- 2) Lukman *et al.*, 2010;
- 3) Garno & Adibroto (1999);
- 4) Rismeyer,(1998) *dalam* Azwar *et al.*, (2004).
 - a) FCR nila =1,23;
 - b) FCR mas = 1,82;
 - c) 1,2% dari berat pakan;
 - d) 37,7 % dari kadar P pada pakan;
 - e) 21,0% dari kadar P pada pakan;
 - f) 41,3% dari kadar P pada pakan.

KONDISI ANOKSIK DI HIPOLIMNION

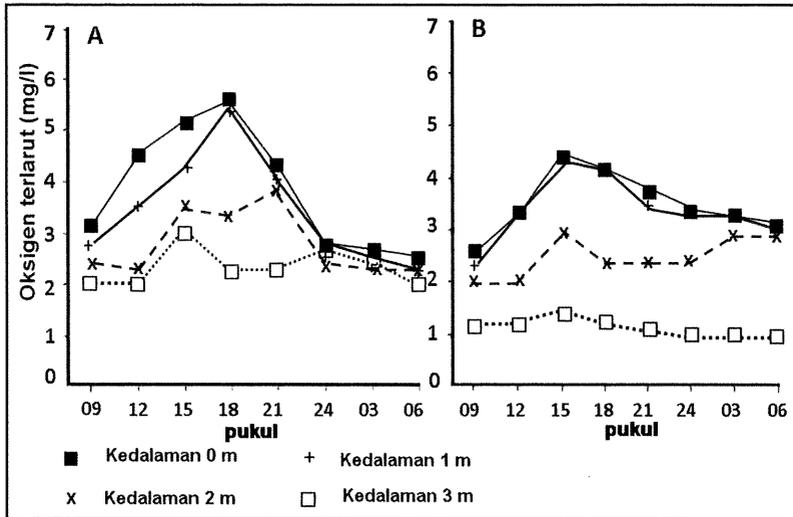
Sebagian besar bahan organik di suatu perairan dihasilkan di wilayah epilimnion dan dirombak di hipolimnion. Hal ini membebani kolom dasar dengan kebutuhan oksigen biologis (BOD; *Biological Oxygen Demand*) yang tinggi. Ketersediaan oksigen di lapisan hipolimnion dipengaruhi oleh laju perpindahan vertikal dari setiap lapisan serta konsumsi oksigen yang dipengaruhi kebutuhan BOD, pembusukan fitoplankton, kebutuhan oksigen benthik, dan perombakan bahan organik (Frisk, 1982).

Menurut Higashino *et al.* (2008), kadar oksigen di lapisan dalam akan terus berkurang sejalan dengan pemanfaatan oksigen di dalam sedimen oleh bakteri perombak organik dan oksidasi metabolit-metabolit reduksi seperti Fe^{2+} , H_2S , dan NH_4 . Menurut Cornet & Rigler (1987), 85% konsumsi oksigen di hipolimnion danau terjadi pada sedimen.

Profil penurunan kadar oksigen di lapisan dalam perairan danau merupakan suatu yang umum terjadi sebagaimana terjadi di Danau Toba, dan menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen sudah sangat minim ($\leq 2,0$ mg/l) pada kedalaman 100 m (Gambar 12).

Di perairan yang memiliki KJA seperti di Waduk Saguling, telah diamati kondisi semakin melebarnya wilayah anoksik (ke kolom air lebih atas). Di kedalaman tiga meter, ketersediaan oksigen pada kondisi air rendah hanya pada kisaran 1 mg/l (Gambar 28 B) dan pada kondisi air tinggi hanya sampai 2 mg/l (Gambar 28 A).

Berdasarkan pengamatan di wilayah perairan Danau Toba bagian utara, ternyata distribusi oksigen terlarut (DO) sampai kedalaman 80–110 m tampak masih tersedia bagi kehidupan hayati akuatik (≥ 3 mg/l), tetapi distribusi vertikal di stasiun Haranggaol yang diukur tepat di daerah KJA, kadar oksigen terlarutnya lebih rendah dibandingkan stasiun Haranggaol Tengah yang diambil di bagian yang jauh dari lokasi KJA, dan stasiun-stasiun lain (Gambar 29). Rendahnya kadar oksigen terlarut di lokasi KJA Haranggaol tidak terlepas dari aktivitas KJA tersebut.

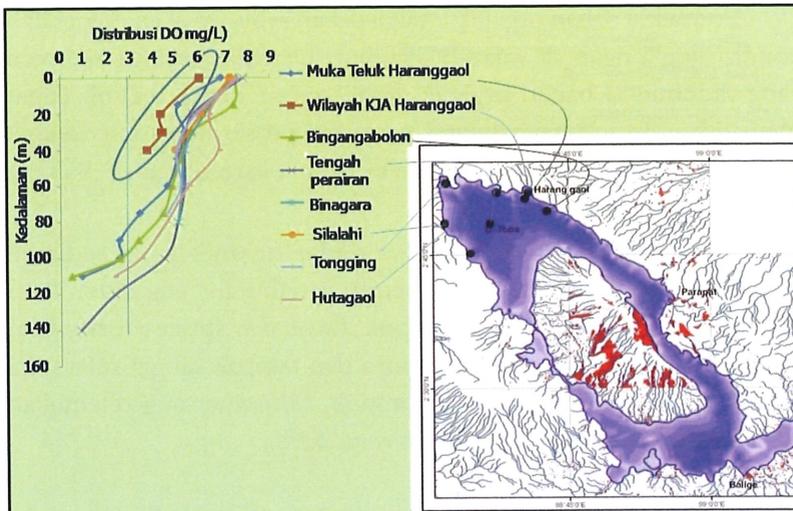


Sumber: Lukman (1996)

Gambar 28. Fluktuasi harian oksigen terlarut di Teluk Bongas, Waduk Saguling Mewakili muka air tinggi (Juni 1995) dan Mewakili muka air rendah (Desember 1995)

Fluktuasi kadar oksigen harian yang lebar sering berlangsung di perairan danau yang mengalami eutrofikasi. Dalam proses ini, kadar minimum hingga kadar kritis terjadi menjelang matahari terbit. Di perairan danau eutrofik, respirasi malam hari dapat dengan segera menurunkan oksigen terlarut yang diakumulasi selama siang hari dari aktivitas fotosintesis.

Proses respirasi didominasi oleh organisme hidup di kolom air (terutama fitoplankton) dan respirasi di sedimen dengan kontribusi relatif tergantung pada faktor kedalaman. Kadar oksigen terlarut di lapisan hipolimnion bisa lebih rendah karena respirasi di sekitar sedimen lebih intensif. Sementara itu, pencampuran air dari permukaan ke bagian dalam dibatasi oleh stratifikasi panas yang umumnya terjadi pada musim panas (Miranda *et al.* 2001).



Sumber: Lukman *et al.* (2010)

Gambar 29. Distribusi vertikal kadar oksigen terlarut di Danau Toba bagian utara

AKUMULASI ORGANIK DI SEDIMEN

Aktivitas KJA secara pasti akan memasok limbah organik, baik yang bersumber dari feses maupun sisa pakan yang tidak termakan ikan, yang secara pasti akan terakumulasi di kolom air dan sedimen. Di Waduk Saguling, pasokan bahan organik dari aktivitas KJA diperkirakan mencapai 29.869 ton/tahun, sedangkan di Waduk Cirata dan di Waduk Jatiluhur masing-masing 145.334 ton dan 14.492 ton (Garno, 2002). Di Waduk Cirata, pada pengamatan 2000, bahan organik total di kolom air berkisar antara 13,9–22,7 mg/l, sedangkan di sedimen antara 152–189 mg berat kering (bk)/gr sedimen (Lukman & Hidayat, 2002). Di sedimen Danau Limboto yang juga memiliki aktivitas KJA, kadar bahan organik total berkisar antara 115–209 mg bk/gr sedimen, dan wilayah yang menjadi pusat aktivitas KJA ternyata memiliki kadar organik total paling tinggi (Lukman *et al.* 2008).

Akumulasi bahan organik total di dalam sedimen akan mengubah kondisi lingkungan di wilayah tersebut. Dengan struktur sedimen yang didominasi bahan organik, tidak semua hewan benthik dapat menjadikannya sebagai habitat. Di sisi lain, proses degradasi organik yang intensif akan mendorong ketersediaan oksigen rendah, bahkan anoksik.

Di Danau Limboto, tingginya kadar organik pada sedimen sejalan dengan komunitas biota benthik penghuni yang didominasi kelompok *Tubificidae*. Dari kelompok *Tubificidae*, spesies *Limnodrilus hoffmeisteri* adalah penyusun utamanya dan tampak sangat menonjol kelimpahannya. Jenis lain dari kelompok *Tubificidae* yang ditemukan adalah *Branchiura sowerbyi* (Lukman *et al.* 2008).

KEBIJAKAN DALAM PENGELOLAAN EKOSISTEM DANAU TOBA

BERBAGAI ARAHAN dan dokumen untuk pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba (EKDT) telah dibuat dan dirumuskan, juga dokumen-dokumen kajian yang komprehensif. Kebijakan pengelolaan EKDT sudah cukup maju, di antaranya dengan terbentuknya badan pengelolaan yang bernama Badan Pelaksana Badan Koordinasi Pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba (BPBKPEKDT). Badan ini memperoleh mandat berdasarkan SK Gubernur Sumatera Utara No. 062.05/255/K/2002 untuk mengembangkan pedoman pengelolaan yang komprehensif dan berkelanjutan. Mandat ini diberikan dalam kerangka kemitraan dengan institusi pemerintah (Pusat, Provinsi, Kabupaten), lembaga non-pemerintah, kelompok profesional, serta masyarakat, guna mengoordinasikan program kerja serta kegiatan bersama para Pemangku Amanah dalam memulihkan, melestarikan, serta menjaga EKDT.

Langkah selanjutnya, suatu dokumen Rencana Pengelolaan Ekosistem Danau Toba (LTEMP; *Lake Toba Ecosystem Management Plan*) telah disusun melalui tahapan yang berkesinambungan dan sinergi antara BKPEKDT dan Otorita Asahan dengan arahan dari Gubernur Sumatera Utara yang juga Ketua BPBKPEKDT, serta didukung oleh para pemangku amanah (*stakeholders*) dan para pakar yang lebih luas. Pada awal Maret 2004, Kesepakatan Konvensi Ekosistem Kawasan Danau Toba dideklarasikan oleh perwakilan dari sebagian besar Pemangku Amanah Ekosistem Kawasan Danau Toba.

LEBIH JAUH MENGENAL LTEMP

Dokumen LTEMP merupakan pedoman dan proposal sebagai panduan upaya pengelolaan EKDT bagi para pemangku amanah, karena disadari bahwa upaya tersebut tidak dapat dilakukan sendiri-sendiri. Secara formal, dokumen LTEMP disebut dengan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba (PPEKDT). Keberadaannya sebagai *prime capital* untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat berbasis daya dukung ekosistem.

Dokumen LTEMP memuat visi, tujuan, dan sasaran pengelolaan EKDT yang disepakati bersama para pemangku amanah. Dokumen LTEMP juga memuat identifikasi permasalahan, pilihan pemulihan, dan langkah pengaturan implementasinya yang simultan dan terintegrasi. Maksud dan tujuan keberadaan LTEMP adalah memulihkan dan memelihara integritas fisik, biologis, dan kimia. EKDT juga menjadi pedoman dalam meletakkan landasan pendekatan pengelolaan ekosistem Danau Toba saat ini dan masa depan.

Menurut LTEMP, Ekosistem Kawasan Danau Toba didefinisikan sebagai wilayah yang dikategorikan sebagai Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Toba dan wilayah yang dikategorikan sebagai Daerah Aliran Sungai (DAS) Asahan. Luas DTA Danau Toba lebih kurang 369.854 Ha, terdiri dari 190.314 Ha daratan di Pulau Sumatera (keliling luar danau), 69.280 Ha daratan Pulau Samosir, dan 110.260 Ha perairan Danau Toba.

Berdasarkan wilayah administrasi, kawasan ini berada di tujuh kabupaten, yaitu Tapanuli Utara, Humbang Hasundutan, Samosir, Toba Samosir, Simalungun, Karo, dan Dairi. Secara geografis terletak di koordinat 2°10' LU–3°0' LU dan 98°20' BT–99°50' BT.

LTEMP dikembangkan dengan prinsip-prinsip:

1. *Upaya dan Konsensus Bersama*. Implementasi LTEMP adalah upaya bersama mencapai konsensus atas visi, tujuan, sasaran prioritas, dan tata laksana pengelolaan EKDT.

2. *Melibatkan Semua Pihak.* Keterlibatan lembaga pemerintah, lembaga non-pemerintah, kalangan swasta, dan profesi serta individu yang melaksanakan fungsinya sesuai dengan bidang, misi, kewenangan, dan profesionalisme yang ada pada dirinya.
3. *Bersifat Iteratif.* Pengayaan data, informasi, dokumen ilmiah, dan kebijakan yang mengarahkan LTEMP menuju kesempurnaan pada setiap periode waktu yang disepakati.
4. *Progresif.* Proses iteratif tersebut di atas menciptakan dialog yang membawa pemangku amanah kepada kondisi-kondisi kesepakatan LTEMP yang lebih maju.
5. *Peran Informasi dan Komunikasi.* LTEMP merupakan dokumen yang terbuka dalam menerima kritik dan masukan dari masyarakat, sesuai dengan prinsip-prinsip iteratif.

Terdapat tujuh sasaran dari manfaat ekosistem Danau Toba dan enam sasaran dasar pencapaiannya. Tujuh sasaran manfaat ekosistem mencakup:

1. Air di EKDT layak digunakan sebagai air minum;
2. Danau Toba memberikan akses seluas-luasnya bagi masyarakat untuk berinteraksi;
3. Lahan di EKDT mempunyai fungsi ekosistem yang optimal;
4. Ikan dan hasil pertanian dari EKDT layak dikonsumsi/tidak terkontaminasi;
5. Air Danau Toba dapat dipergunakan sebagai sumber tenaga listrik;
6. Ekosistem flora dan fauna dalam keadaan sehat serta terpelihara keanekaragamannya;
7. Udara di EKDT dapat mendukung kehidupan ekosistem yang sehat.

Sementara, enam sasaran Dasar Pencapaian Sasaran Manfaat adalah “kondisi-kondisi perlu” yang harus terlebih dahulu dicapai untuk mewujudkan sasaran-sasaran manfaat di atas dan disepakati sebagai berikut.

1. Keberadaan data dan informasi yang cukup untuk dipergunakan dalam proses perencanaan, perumusan kebijakan, pengambilan keputusan, dan pelaksanaan kebijakan di EKDT;
2. Perumusan, pengambilan keputusan, dan pelaksanaan kebijakan di EKDT didasarkan atas prinsip manajemen ekosistem yang telah disepakati bersama;
3. Masyarakat dan pranatanya mampu mengambil peran proaktif dalam pelestarian EKDT;
4. Sedimen, udara, daratan, dan perairan di kawasan Danau Toba tidak menjadi sumber/jalur penekan (*stressors*) terhadap integritas ekosistem;
5. Badan Koordinasi Pelestarian (BKPEKDT) yang berdaya guna;
6. Keberadaan spesies eksotik di kawasan Danau Toba dapat terpantau dengan baik dan terkendali.

DRAF RENCANA TATA RUANG KAWASAN DANAU TOBA

Penataan ruang kawasan Danau Toba ditetapkan berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Sumatera Utara No.1 Tahun 1990. Sedangkan pada tingkat nasional, berdasarkan Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN) menetapkan Kawasan Danau Toba dan sekitarnya sebagai Kawasan Strategis Nasional, sekaligus merupakan bagian dari Kawasan Andalan Pematang Siantar dan sekitarnya.

Tujuan pemanfaatan ruang kawasan Danau Toba adalah:

1. Mewujudkan pemanfaatan ruang yang aman, nyaman, produktif, terpadu, dan berkelanjutan;
2. Mendorong terciptanya perekonomian yang berdaya saing tinggi di tingkat Asia dan dunia, terutama di bidang pariwisata, dengan memberdayakan ekonomi lokal;
3. Mewujudkan masyarakat yang terbuka terhadap dunia luar dengan tetap mempertahankan jati diri bangsa dan peradaban lokal;

4. Mewujudkan keharmonisan antara lingkungan alam dan lingkungan buatan.

Sementara itu, kebijakan dan strategi pengembangan struktur ruang diarahkan untuk menjaga keterkaitan antar-kawasan dan untuk meningkatkan jangkauan pelayanan jaringan prasarana, yang meliputi: i) Peningkatan akses pelayanan perkotaan dan pertumbuhan ekonomi wilayah kawasan Danau Toba yang merata, berhierarki, dan terkendali; dan ii) Peningkatan kualitas jangkauan pelayanan prasarana transpostasi.

Kebijakan dan strategi dan pola ruang terdiri dari kebijakan pengembangan kawasan lindung dan kebijakan kawasan budi daya. Kebijakan kawasan lindung diarahkan untuk: i) Pemeliharaan dan perwujudan kelestarian fungsi lingkungan hidup; ii) Pencegahan dampak negatif kegiatan manusia yang dapat menimbulkan kerusakan lingkungan hidup. Sedangkan kebijakan kawasan budi daya diarahkan pada: i) Perwujudan dan peningkatan keterpaduan serta keterkaitan antar-kegiatan budi daya; dan ii) Pengendalian perkembangan kegiatan budi daya agar tidak melampaui daya dukung dan daya tampung lingkungan.

BAKU MUTU AIR DANAU TOBA

Sebagai salah satu implementasi pengelolaan EDT juga telah ditetapkan Peraturan Gubernur Sumatera Utara Nomor 1 tahun 2009, tentang Baku Mutu Air Danau Toba. Peraturan Gubernur tersebut ditetapkan dengan pertimbangan, di antaranya: i) Danau Toba sebagai sumber daya alam memiliki fungsi penting bagi kehidupan serta perikehidupan bangsa dan negara sehingga merupakan modal dasar bagi kesejahteraan masyarakat; dan ii) Untuk melestarikan fungsi air danau serta ekosistemnya perlu dilakukan pengendalian pencemaran air Danau Toba dengan memperhatikan kepentingan generasi sekarang dan mendatang serta keseimbangan ekologis. Peraturan Gubernur tersebut memuat antara lain:

PASAL 2

1. Pengelolaan kualitas air Danau Toba dilakukan untuk menjamin kualitas air yang diinginkan sesuai peruntukannya agar tetap dalam kondisi alamiahnya;
2. Pengelolaan kualitas air Danau Toba dan pengendalian pencemaran air diselenggarakan dengan pendekatan ekosistem;
3. Pemerintah Provinsi bertanggung jawab dalam pengelolaan kualitas air Danau Toba dan dapat menugaskan Pemerintah Kabupaten yang bersangkutan.

Pasal 5

1. Dengan memperhatikan hajat hidup orang banyak, baku mutu air Danau Toba ditetapkan kelas satu.

Pasal 11 ayat 2

1. Setiap program dan atau kegiatan yang diperkirakan berdampak terhadap perairan Danau Toba wajib berkoordinasi dengan Bapedalda Provinsi Sumatera Utara dan Badan Koordinasi Pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba (BKPEKDT).

PEMINTAKATAN WILAYAH PERAIRAN DANAU TOBA UNTUK PENGEMBANGAN KARAMBA JARING APUNG

PERATURAN MENTERI Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009, tentang daya tampung beban pencemaran air danau dan/atau waduk menetapkan bahwa dalam penetapan rencana tata ruang DTA danau dan/atau waduk dan pemberian izin kegiatan yang lokasinya dapat memengaruhi kualitas air danau dan/atau waduk (Pasal 5; ab) harus mempertimbangkan daya tampung beban pencemaran air danau dan/atau waduk. Daya tampung beban pencemaran air yang dimaksud adalah kemampuan air danau dan air waduk untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air danau dan air waduk menjadi cemar (Pasal 1, ayat 5).

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan RI No.12/Men/2010 tentang pengembangan minapolitan menetapkan bahwa setiap pengembangan usaha perikanan harus berkesesuaian dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RT/RW) (Pasal 7a), dan proyeksi arah pengembangan harus memuat kelayakan lingkungan berdasarkan daya dukung dan daya tampung (Pasal 7f). Dengan demikian, salah satu kriteria penetapan mintakat pengembangan KJA adalah daya dukung perairan yang mampu mendukung sejumlah produksi ikan dengan tetap menjaga kualitas perairan dalam kondisi yang dikehendaki. Untuk penetapan mintakat KJA di perairan danau, perlu memperhatikan kebutuhan KJA itu sendiri, pemanfaatan lain, dan masyarakat sekitar danau yang memungkinkan pemanfaatan perairan untuk pengembangan KJA.

Perairan danau, sebagaimana perairan umum lainnya, memiliki karakteristik yang menyangkut sifat milik bersama (*common property*), kepentingan multisektoral, serta adanya beragam wilayah administrasi. Karakteristik lain adalah faktor sensitivitas terhadap beban masukan hara dan mineral sebagai dampak kegiatan manusia, terkait tipe badan air dan komunitas plasma nutfah yang sangat bervariasi.

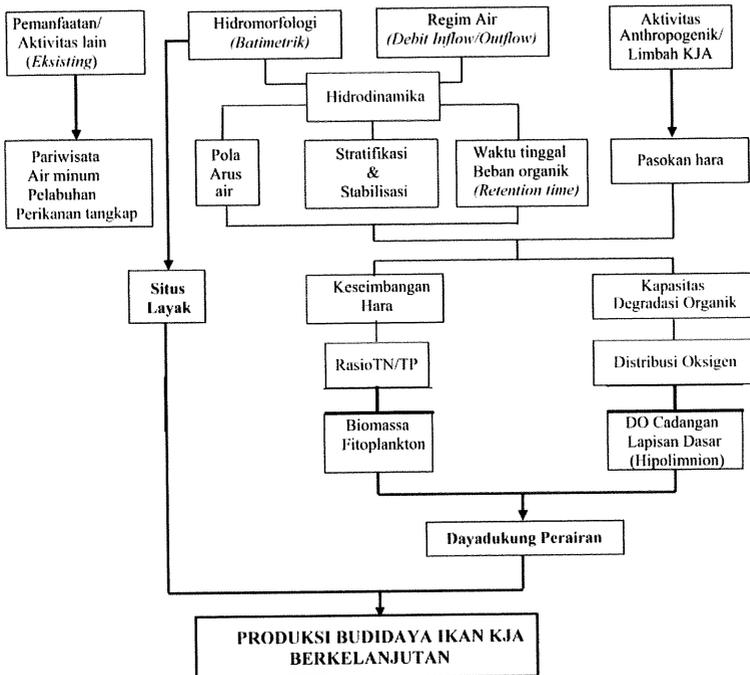
Danau hanya dapat memberikan keuntungan sosial yang optimal jika kebijakan pengelolannya terintegrasi dengan pemanfaatan sumber daya yang seimbang pada setiap potensi yang dapat danau berikan. Selain kontribusinya terhadap lingkungan, danau memiliki nilai-nilai terkait aspek estetika, pendidikan, peluang ekonomi, keamanan emosional, budaya, kebebasan individu, dan spiritual. Dengan demikian, untuk memperluas konseptualisasi nilai-nilai danau dan implementasi perencanaan pengelolaan yang terintegrasi, penting sekali melibatkan aspek dan kepentingan penduduk di dalamnya.

Berdasarkan tinjauan analitik, kesinambungan dan optimalisasi budi daya ikan KJA tergantung pada daya dukung perairan, dengan memperhatikan dampak penambahan hara dan bahan organik dari proses budi daya yang tidak menimbulkan proses eutrofikasi serta penurunan kualitas air yang dapat mengganggu aktivitas lain. Sementara itu, pengembangan KJA di perairan multifungsi dibatasi oleh pemanfaatan lain. Daya dukung perairan akan sangat ditentukan oleh karakteristik fisik perairan yang sangat spesifik untuk setiap danau (Gambar 30).

Dengan demikian, selain memperhatikan aspek daya dukung, penetapan mintakat (zonasi) KJA di Danau Toba perlu mempertimbangkan beberapa hal yang dapat menjadi kriteria:

1. Faktor hidromorfometri dan pola aliran massa air di perairan Danau Toba;
2. Berlokasi di luar wilayah litoral danau;
3. Pertimbangan panjang garis pantai setiap kabupaten;
4. Luas lahan pertanian setiap kabupaten;
5. Mempertimbangkan jumlah penduduk lokal;
6. Berlokasi di luar wilayah *in take* air minum utama;

7. Berlokasi di luar wilayah aktivitas bisnis dan pelabuhan;
8. Berlokasi di luar wilayah/kawasan wisata dan potensi wisata;
9. Berlokasi di luar wilayah suaka perikanan (reservat ikan).



Sumber: Lukman (2011)

Gambar 30. Kerangka analitik potensi pengembangan budi daya ikan sistem KJA

PENETAPAN DAYA DUKUNG

Wilayah Danau Toba di Sumatera Utara merupakan salah satu andalan pariwisata nasional sehingga pengembangan KJA harus memperhatikan kapasitas daya dukungnya sehingga tidak mengancam kegiatan pariwisata. Perhitungan daya dukung pengembangan KJA di Danau Toba dapat mengikuti beberapa skenario, yaitu skenario penetapan *total phosphate* (TP) rata-rata yang dapat diterima ([P]f) pada kondisi oligotrofik, skenario penetapan ([P]f) pada kondisi oligo-mesotrofik, dan skenario penetapan ([P]f) pada

rata-rata TP pengukuran 2009. Namun, mengingat perairan Danau Toba sebagai aset wisata maka yang perlu dipertimbangkan adalah skenario pertama, yaitu kadar TP yang dapat diterima ($[P]_f$) pada kondisi oligotrofik.

Seperti diketahui bahwa kondisi perairan Danau Toba saat ini berada pada tingkat kesuburan di atas oligotrofik (Nomosatryo & Lukman, 2011). Kondisi tersebut sudah berada di atas ambang batas ideal untuk kepentingan pariwisata, yaitu ($[P]_f$ $5 \text{ mg/m}^3 \approx 0,005 \text{ mg/l}$) (Beveridge, 1984). Kondisi ideal tersebut teramati jauh sebelum pengembangan KJA di Danau Toba, yaitu pada 1929 ($0,005 \text{ mg/l}$; Ruttner, 1930).

Mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) nomor 28 tahun 2009 tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air danau dan/atau Waduk, kisaran angka ($[P]_f$) oligotrofik maksimum adalah pada $[P] < 10 \mu\text{g/l}$ ($\approx 10 \mu\text{g/l}$). Dengan demikian, kisaran kapasitas TP Danau Toba yang masih tersedia untuk budi daya ikan intensif ($\Delta P = [P]_f - [P]_i$) adalah $\approx 5 \mu\text{g/l}$. Dengan pertimbangan skenario daya dukung untuk kondisi danau oligotrofik (skenario I) maka TP yang dapat diterima untuk seluruh Danau Toba adalah 324,44 ton/tahun (Tabel 15).

Memperhatikan perkiraan komponen P yang terbuang dari aktivitas KJA, yaitu 445,6 ton (Tabel 14), dan berdasarkan tingkat produksi ikan saat ini, yaitu 47.477,9 ton (Tabel 13), maka produksi ikan tersebut telah melebihi batas daya dukung perairan Danau Toba yang hanya 35.282 ton/tahun (Tabel 15). Dengan demikian, produksi ikan saat ini berada pada 12.195 ton di atas dukung Danau Toba.

Dengan memperhatikan data yang paling logis, sebagaimana telah dikemukakan sebelumnya, yaitu berdasarkan produksi ikan di Kabupaten Simalungun dan jumlah KJA dengan ukuran yang diasumsikan ($5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$), maka produksi rata-rata per karamba adalah 3 ton/KJA/tahun. Dengan demikian, jumlah KJA yang dapat dioperasikan di seluruh perairan Danau Toba adalah 10.000–11.000 unit.

Tabel 15. Penetapan daya dukung perairan danau toba untuk pengembangan KJA dengan beberapa skenario TP rata-rata yang dapat diterima Danau Toba

No. Parameter	Skenario I	Skenario II	Skenario III
1. Proporsi TP terlarut yang hilang ke sedimen (R)	0,903	0,903	0,903
2. TP tertahan permanen pada sedimen (x)	≈ 0,5	≈ 0,5	≈ 0,5
3. TP yang berasal dari ikan yang diperlihara (Rfish)	0.9514	0.9514	0.9514
4. TP pada kondisi awal Danau Toba [P]i *	< 5 µg/l (≈ 5µg/l)	< 5 µg/l (≈ 5µg/l)	< 5 µg/l (≈ 5µg/l)
6. TP rata-rata yang dapat diterima Danau Toba ([P]f)	<10 µg/l (≈ 10 µg/l)	<20 µg/l (≈ 20 µg/l)	24,8 µg/l (≈ 25 µg/l)
7. Kapasitas TP Danau Toba yang masih tersedia untuk budi daya intensif (ΔP= [P]f - [P]i)	≈ 5 µg/l	≈ 15 (µg/l)	≈ 20 (µg/l)
8. Beban TP yang dapat diterima dari aktivitas budi daya (Lfish)	288,6 µg/ m3/th 0,289 mg/ m3/th	865,9 µg/ m3/th 0,866 mg/ m3/th	1.154,6 µg/ m3/th 0.856 mg/ m3/th
9. TP yang dapat diterima Danau Toba ([P]a = Lfish x A)	324,44 (ton/ tahun)	973,32 (ton/tahun)	1.297,76 (ton/tahun)
10. Estimasi produksi ikan yang dapat dicapai**	35.282 (ton/ tahun)	101.932,7 (ton/tahun)	141.130,21 (ton/tahun)
11. Produksi ikan yang masih dapat dicapai***	-12.195,3 (ton/ tahun)	54.454,8 (ton/tahun)	93.652,3 (ton/tahun)

Sumber: Lukman & Hamdani (2011)

Keterangan:

Skenario I : [P]f pada kondisi oligotrofik;

Skenario II : [P]f pada kondisi oligo-mesotrofik

Skenario III : [P]f pada kondisi TP rata-rata pengukuran 2009

*) Data fosfor 1929 (Ruttner, 1930)

**) Nilai [P]a yang dikonversi kepada produksi ikan mengacu pada Tabel 14

***) Berdasarkan tingkat produksi yang sudah dicapai pada 2010 untuk skenario I (Tabel 13)

KRITERIA PERTIMBANGAN PENETAPAN ZONASI KARAMBA JARING APUNG

Penetapan lokasi-lokasi untuk pengembangan KJA harus memperhatikan beberapa faktor, mengingat kepekaan dari organisme yang dibudidayakan. Di sisi lain, harus juga memperhatikan dampak KJA terhadap lingkungan dan aktivitas lain. Berikut ini beberapa faktor yang menjadi pertimbangan dalam penetapan zonasi KJA di Danau Toba.

Wilayah Litoral Danau

Wilayah litoral Danau Toba meliputi seluruh tepian danau hingga kedalaman 30 m, yang diperkirakan mencapai luas 10,64 km² (Gambar 9). Wilayah litoral yang merupakan “pemasok energi utama” perairan danau harus dilindungi dari aktivitas yang memberikan daya rusak. Pengembangan KJA dapat mengubah substrat dasar dengan adanya akumulasi bahan organik dari sisa pakan dan feses ikan yang dipelihara serta mengganggu wilayah litoral. Pengembangan KJA di perairan Danau Toba perlu dibatasi, bahkan dihindari di wilayah ini.

Kawasan pengembangan KJA dapat memanfaatkan bagian lepas pantai dari wilayah litoral hingga kedalaman 100 m, terkait teknik pemasangan KJA oleh masyarakat lokal pada umumnya hingga di bawah kedalaman 100 m tersebut.

Kondisi Hidromorfometri dan Pola Aliran Massa Air

Kondisi hidromorfometri Danau Toba dengan *inlet-inlet* yang dominan di ceruk selatan serta keberadaan *outlet* danau, yaitu Sungai Asahan yang berada di bagian selatan pula, membuat pola aliran massa air lebih dinamis di bagian selatan. Mengingat salah satu faktor daya dukung perairan untuk pengembangan KJA adalah laju penggelontoran maka tingkat penggantian air di selatan lebih tinggi. Sebagai dampak dari kondisi tersebut adalah daya dukung

ceruk utara untuk pengembangan KJA lebih kecil dibanding ceruk bagian selatan.

Panjang Garis Pantai

Garis pantai merupakan akses daratan ke perairan sehingga panjangnya dari setiap kabupaten yang tersebar di seputar Danau Toba menjadi salah satu pertimbangan jumlah KJA yang dapat dikembangkan. Keliling Danau Toba berdasarkan pengukuran batimetri adalah 428,7 km (Tabel 4), namun berdasarkan perhitungan dari peta rupa bumi adalah 468 km. Kabupaten Samosir memiliki pantai paling panjang (42,8%), disusul oleh Toba Samosir dan Simalungun (Tabel 16). Jumlah KJA yang dapat dikembangkan untuk setiap kabupaten di seputar Danau Toba semestinya proporsional dengan panjang garis pantainya.

Tabel 16. Panjang garis pantai perairan danau dari setiap kabupaten di Seputar Danau Toba

No.	Kabupaten	Garis pantai	
		Panjang (km)	Proporsi (%)
1.	Samosir	200,3	42,8
2.	Toba Samosir	115,8	24,7
3.	Simalungun	76,0	16,2
4.	Tapanuli Utara	24,2	5,2
5.	Humbang Hasundutan	8,4	1,7
6.	Karo	13,7	2,9
7.	Dairi	29,6	6,3
Jumlah		468,0	100

Pertimbangan Luas Lahan Pertanian

Luas lahan pertanian dari setiap kabupaten merupakan faktor pembatas menyangkut perlunya menjaga ketersediaan hara di perairan Danau Toba. Seperti diketahui bahwa lahan pertanian merupakan salah satu sumber hara dari sisa penggunaan pupuk dan dapat

mendorong eutrofikasi perairan danau. Dengan demikian, semakin luas lahan pertanian, semakin meningkat pasokan hara.

Berdasarkan perhitungan dari peta rupa bumi, luas lahan pertanian di kawasan Danau Toba mencapai 129,448 ha, dengan luas terbesar di Kabupaten Toba Samosir (43,4%) disusul Kabupaten Samosir (37,8%) (Tabel 17). Jumlah (kuota) KJA yang dapat dikembangkan di suatu kabupaten harus dikoreksi dengan potensi pencemaran dari aktivitas pertanian ini.

Tabel 17. Luas dan proporsi lahan pertanian di setiap kabupaten di wilayah Danau Toba

Kabupaten	Lahan Pertanian		Persentase jumlah KJA yang dapat ditanam dari alokasi total*	
	Luas (ha)	%	%	
Toba Samosir	56.138,41	43,4	56,6	
Samosir	48.970,95	37,8	62,2	
Simalungun	12.698,60	9,8	90,2	
Humbang Hasundutan	7.907,73	6,1	93,9	
Dairi	2.062,15	1,6	98,4	
Karo	1.670,50	1,3	98,7	
Jumlah	129,447,94	100,0		

Keterangan: *) Proporsi total (100%) - Proporsi (%) lahan pertanian

Wilayah Air Minum

Pada umumnya, sebagian besar pemukiman, baik dusun maupun desa, di seputar perairan Danau Toba memenuhi kebutuhan air minum dan domestiknya dari air danau. Air danau juga dimanfaatkan oleh PDAM sebagai sumber air baku untuk memenuhi kebutuhan air domestik, yaitu di Balige, Laguboti (Porsea), dan Pangururan.

Sebagaimana diketahui bahwa baku mutu kualitas air untuk air minum sangat tinggi, seperti TP <0,005 mg/l (Beveridge, 1984) atau kondisi perairan oligotrofik. Di lokasi *intake* air minum,

pengembangan KJA semestinya dihindari dan ditetapkan jarak tertentu untuk pengembangannya.

Wilayah/Kawasan Wisata, Bisnis, dan Pelabuhan serta

Penduduk Lokal

Lokasi pariwisata di wilayah Danau Toba hampir tersebar di sepanjang danau, baik yang bersentuhan dengan perairan maupun tidak. Tercatat 15 dusun/desa yang menunjang pariwisata. Bahkan, selain lokasi pariwisata, Parapat, Balige, dan Panguruan juga merupakan pusat-pusat bisnis. Terdapat 12 lokasi berpotensi wisata yang belum dikembangkan (Tabel 11; Gambar 22). Dengan demikian, secara keseluruhan, terdapat 27 lokasi yang harus dilindungi dan tidak memungkinkan untuk digunakan sebagai KJA. Di wilayah bisnis dan pelabuhan, kondisi lingkungan perairan pada umumnya sudah tidak mendukung KJA karena tingginya pencemaran domestik dan buangan dari kapal penyeberangan. Sementara, KJA di wilayah wisata akan mengganggu aktivitas wisatawan karena menurunkan nilai estetika perairannya.

Selain desa/dusun yang memiliki aktivitas bisnis/wisata dan potensi wisata, terdapat 120 desa/dusun yang tidak memiliki aktivitas-aktivitas tersebut dengan jumlah penduduk mencapai 16.509 KK (Tabel 11). Untuk memberikan peluang masyarakat memiliki mata pencaharian maka desa/dusun inilah yang harus dipertimbangkan menjadi lokasi-lokasi untuk pengembangan KJA, dan menjadi salah satu acuan untuk penetapan lokasi-lokasi pengembangan KJA dengan tetap memperhatikan kriteria dan batasan sebelumnya.

Memperhatikan terbatasnya potensi sumber daya alam di kawasan Danau Toba, misalnya ketersediaan lahan pertanian yang sempit dan potensi sumber daya lain yang minim, pengembangan ekonomi penduduk, terutama masyarakat lokal, akan tertuju pada potensi perairan, di antaranya KJA. Masyarakat lokal yang aksesibilitasnya pada pemanfaatan sumber daya lain sangat rendah, harus mendapat prioritas dalam pengembangan KJA.

Dengan mengacu pada proporsi jumlah desa dan jumlah penduduk di masing-masing kabupaten, dapat ditetapkan satu kriteria proporsi KJA yang dapat dikembangkan (Tabel 18).

Tabel 18. Proporsi dusun/desa dan jumlah penduduk di Danau Toba yang tidak memiliki potensi dan aktivitas bisnis, wisata, dan pelabuhan

No.	Kabupaten	Jumlah Dusun/ Desa (%)	Jumlah Penduduk (%)	Rata-rata (%)
1.	Samosir	52,50	59,77	56,14
2.	Simalungun	14,17	10,17	12,17
3.	Toba Samosir	16,67	9,58	13,12
4.	Tapanuli Utara	8,33	8,47	8,40
5.	Hbg. Hasundutan	3,33	7,49	5,41
6.	Karo	3,33	3,24	3,29
7.	Dairi	1,67	1,27	1,47

Sumber: Diolah dari data Sitompul *et al* (2007).

Wilayah Suaka

Wilayah suaka atau zona lindung, baik untuk ikan (suaka perikanan), biota endemik, maupun habitat burung air (Gambar 31) harus diberi ruang dan terbebas dari pengembangan KJA, untuk menjaga kelestarian keragaman hayati perairan. Pentingnya wilayah suaka di Danau Toba karena terdapat beberapa jenis biota yang perlu dilindungi, yaitu biota endemis seperti ikan ihan/batak *N. thienemanni* dan *L. (Tor) soro*, serta remis toba (*C. tobae*). Juga jenis ikan lokal yang keberadaannya sudah sangat menurun seperti ikan pora-pora (*P. binotatus*).

Wilayah lindung harus ditetapkan oleh pemerintah dan didukung serta dipahami oleh segenap pengguna perairan. Sebagaimana diketahui bahwa beberapa kriteria reservat di antaranya membutuhkan kondisi lingkungan yang optimal dan membatasinya dari gangguan manusia.

Berdasarkan informasi dari Krismono & Sarnita (2003), terdapat 19 lokasi suaka perikanan yang tersebar di seluruh kabupaten di wilayah Danau Toba (Tabel 19; Gambar 32).



Gambar 31. Habitat burung air di Simanindo, Samosir. (Foto: Lukman).

Dari penelusuran dari Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sumatera Utara dan Sub Dinas Perikanan di kabupaten-kabupaten wilayah Danau Toba, surat penetapan suaka perikanan di kawasan Danau Toba tidak diketahui. Suaka-suaka tersebut kemungkinan bukan suatu kawasan lindung, tetapi tempat yang ditetapkan untuk penebaran ikan (*restocking*) yang dilakukan oleh Dinas Perikanan dan Kelautan Sumatera Utara, lewat Balai Benih (BBI) Ikan di Simanindo. Penebaran ikan tersebut dilakukan dalam rangka peningkatan produksi ikan di Danau Toba yang dilakukan sejak 1993/1994 hingga 2011 lalu (Gambar 33) (Staf BBI Dinas Kelautan dan Perikanan Prov. Sumatera Utara di Simanindo; *Komunikasi Pribadi*).

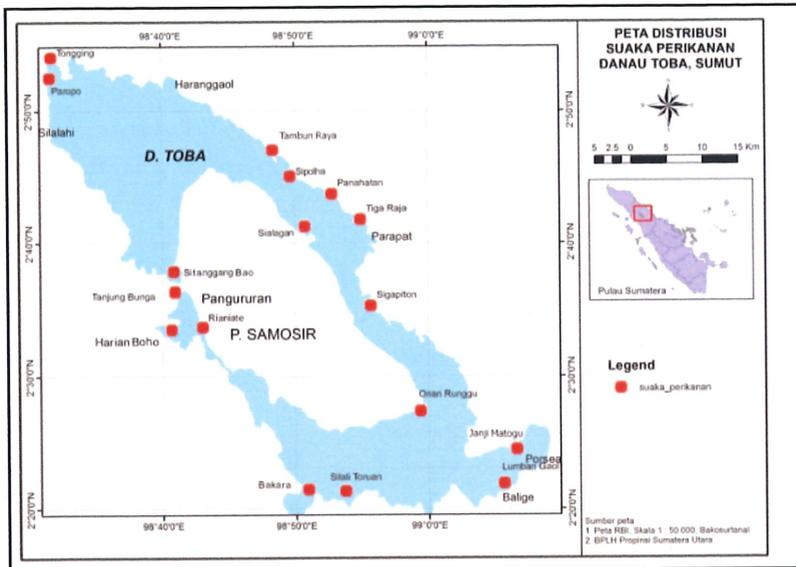
Beberapa kawasan yang disebut sebagai suaka perikanan pada kenyataannya tidak layak sebagai wilayah lindung ikan karena terdapat aktivitas yang kurang mendukung bagi kehidupan ikan, seperti KJA (Panahatan) (Gambar 34), aktivitas pelabuhan penyeberangan (Tiga Raja), dan pariwisata (Tongging).

Tabel 19. Lokasi-lokasi suaka perikanan di perairan Danau Toba

No.	Lokasi Suaka Perikanan	Kabupaten
1.	Lumban Gaol	Toba Samosir
2.	Janji Matogu	Toba Samosir
3.	Jojonang	Toba Samosir
4.	Sigapiton	Toba Samosir
5.	Sialagan	Samosir
6.	Situnjang	Samosir
7.	Sitanggung Bao	Samosir
8.	Tanjung Bunga	Samosir
9.	Rianiate	Samosir
10.	Harian Boho	Samosir
11.	Onan Rungu	Samosir
12.	Siali Toruan	Tapanuli Utara
13.	Bakara	Humbang Hasundutan
14.	Tiga Raja	Simalungun
15.	Panahatan	Simalungun
16.	Tambun Raya	Simalungun
17.	Sipolha	Simalungun
18.	Paropo	Dairi
19.	Tongging	Karo

Sumber: Krismono & Sarnita (2003)

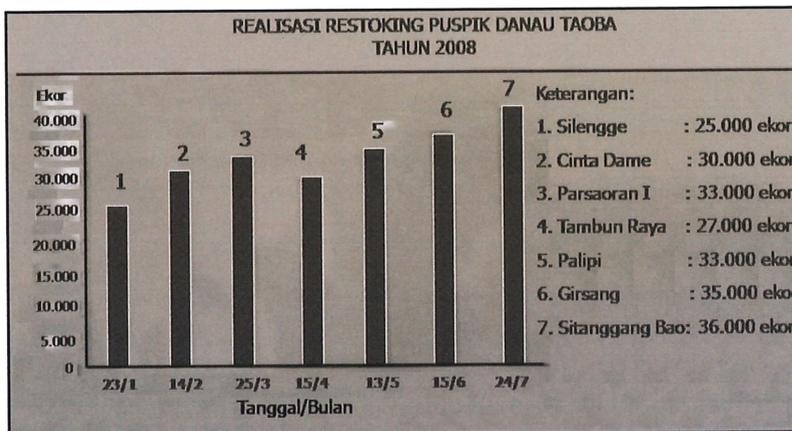
Keberadaan suaka perikanan di dalam sistem hukum Indonesia dijamin oleh Pasal 8 ayat 1 dan ayat 2, Undang-undang RI No. 9 Tahun 1985 tentang Perikanan (Hartoto, 2002). Keberhasilannya dapat ditinjau dari “integritas ekologis”, yaitu dapat mewakili ekosistem sejenis yang terdapat di dalam wilayah geologis yang sama (Hartoto *et al.* 1998).



Sumber: Diolah dari data Krismono & Sarnita (2003)

Gambar 32. Peta lokasi suaka perikanan di Danau Toba

(Peta lokasi suaka perikanan berdasarkan informasi staf Sub Dinas Perikanan Kabupaten Samsosir dan Toba Samsosir, serta Staf BBI Provinsi Sumatera Utara di Simanindo yang dicocokkan dengan peta rupa bumi, BAKOSURTANAL Beberapa lokasi suaka perikanan tidak diketahui)

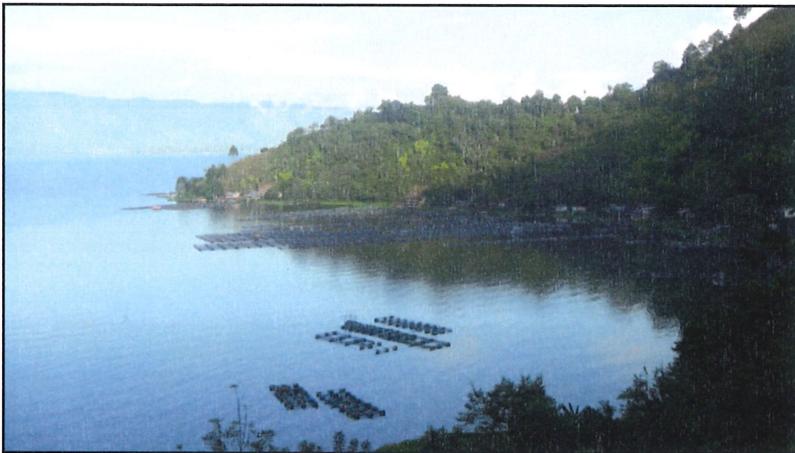


Sumber: BBI ikan Dinas Kelautan dan Perikanan Prov. Sumatera Utara di Simanindo, Kab. Samsosir.

Gambar 33. Realisasi penebaran (*restocking*) ikan pada 2008 di Danau Toba

Perlu menjadi perhatian bahwa keberhasilan suatu suaka perairan untuk keberadaan remis toba adalah wilayah litoral, sedangkan untuk suaka komunitas ikan-ikan tertentu seperti ikan batak dan ikan bilih harus memiliki ruang migrasi ke anak sungai (Lukman, 2010). Dengan demikian, tepian Danau Toba yang memiliki wilayah litoral dan muara sungai yang memiliki aliran permanen tidak menjadi areal pengembangan KJA.

Meskipun saat ini Pemerintah Daerah di wilayah Danau Toba belum menetapkan suaka perikanan atau reservat ikan, setiap kabupaten di seputar Danau Toba harus mengalokasikan minimal mengalokasikan satu samapi tiga lokasi suaka alam yang harus terbebas dari aktivitas dan pengembangan KJA.

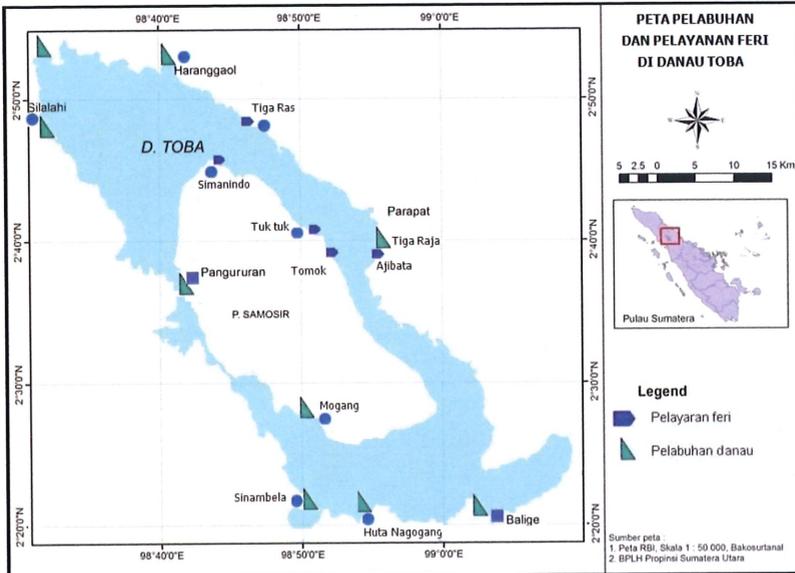


Gambar 34. Suaka perikanan Panahatan yang dimanfaatkan untuk pengembangan KJA. (Foto: Lukman)

Fasilitas Penting

Fasilitas penting yang harus dihindari untuk pengembangan KJA adalah sarana pendukung transportasi, yaitu pelabuhan penyeberangan feri dan pelabuhan-pelabuhan yang tersebar di seluruh tepian danau. Terdapat pelabuhan penyeberangan feri menuju Pulau Samosir, yaitu di Ajibata dan Tiga Ras, serta terdapat 11 pelabuhan (Gambar 35).

Fasilitas penting lain yang juga harus dilindungi dari aktivitas KJA adalah Pembangkitan Listrik Tenaga Air (PLTA) Renun (Gambar 36) yang berada di Silalahi, Kabupaten Dairi. Perlindungan situs-situs tersebut, selain menyangkut masalah pengamanan fasilitas, juga akses kepentingan masyarakat umum.



Gambar 35. Peta pelabuhan dan pelayanan feri di Danau Toba



Gambar 36. Fasilitas penting yang perlu dilindungi dari aktivitas KJA. PLTA Renun (atas) dan pelabuhan penyeberangan (bawah). (Foto: Lukman)

ALOKASI DAN PENETAPAN WILAYAH MINTAKAT KJA DI DANAU TOBA

BERBAGAI PERTIMBANGAN penetapan alokasi KJA telah dikemukakan sebelumnya dengan memperhatikan faktor alam dan manusia. Terdapat empat faktor yang dapat digunakan sebagai penentu alokasi jumlah KJA di setiap kabupaten di Danau Toba, yaitu faktor hidromorfometri, panjang garis pantai, luas lahan pertanian, dan faktor dusun/penduduk (Tabel 20).

Tabel 20. Faktor koreksi penetapan prosentasi (%) jumlah KJA di setiap wilayah kabupaten di kawasan Danau Toba

Wilayah Danau	Kabupaten	Faktor koreksi untuk prosentasi (%) penetapan jumlah KJA di setiap wilayah			
		Hidro- morfologi	Garis Pantai	Lahan Pertanian	Desa/ Dusun & Penduduk***
Ceruk Utara	Karo	40	2,9	98,7	3,29
	Dairi		6,3	98,4	1,47
	Simalungun		16,2	90,2	12,17
	Samosir Utara		17,1 ^{*)}	62,2	56,14
Ceruk Selatan	Samosir Selatan	60	25,7 ^{**)}	24,7	56,6
	Toba Samosir		1,7	93,9	5,41
	Hbg. Hasundutan		5,2	100	8,40
	Tapanuli Utara		100	100	100

Keterangan: *) 40% dari proporsi panjang garis pantai Kabupaten Samosir (42,8%); **) 60% dari proporsi panjang garis pantai Kabupaten Samosir (42,8%); ***) Rataan % jumlah desa/dusun dan % jumlah penduduk

Dengan mempertimbangkan kondisi hidromorfologi ceruk Danau Tona, dari seluruh KJA yang dapat dioperasionalkan, proporsi jumlah KJA di ceruk selatan adalah 60% dan di ceruk utara 40%. Dengan demikian, jika dapat ditetapkan jumlah KJA untuk seluruh perairan danau 11.000 unit maka di ceruk utara 4.400 unit dan di ceruk selatan adalah 6.600 unit.

Dengan memperhatikan rasio panjang garis pantai maka proporsi tertinggi jumlah KJA untuk setiap kabupaten terdapat di Kabupaten Samosir (4.712 unit), diikuti Toba Samosir (2.720 unit), dan (1.785 unit). Sementara itu, dengan mempertimbangkan proporsi jumlah penduduk dan desa/dusun yang tidak memiliki aktivitas wisata/bisnis, maka jumlah KJA di Kabupaten Samosir adalah 6.175 unit, Simalungun dan Toba Samosir masing-masing adalah 1.339 unit dan 1.443 unit. Dengan memperhatikan kedua pertimbangan tersebut maka diperoleh jumlah rata-rata KJA yang dapat dikembangkan (Tabel 21).

Tabel 21. Perhitungan alokasi jumlah KJA (unit) untuk setiap kabupaten di kawasan Danau Toba berdasarkan berbagai kriteria

Kabupaten	Berdasarkan proporsi panjang garis pantai	Berdasarkan proporsi jumlah desa/dusun dan penduduk	Jumlah Rata-rata
Karo	322	362	342
Dairi	696	162	429
Simalungun	1.785	1.339	1.562
Samosir Utara (40%)	1.883	2.470	2.177
Samosir Selatan 60%)	2.829	3.705	3.267
Toba Samosir	2.720	1.443	2.082
Humbang	190	595	393
Tapanuli Utara	575	924	750
	11.000	11.000	11.000

Namun, mengingat tingkat kesuburan perairan sebagai dampak peningkatan kadar total fosfor (TP) tidak hanya bersumber dari aktivitas KJA tetapi juga dari pertanian, maka luas lahan pertanian di setiap kabupaten menjadi faktor koreksi jumlah KJA tersebut.

Dengan faktor koreksi dari proporsi lahan pertanian di setiap kabupaten maka jumlah total KJA yang dapat ditanam di Danau Toba adalah 7.851 unit (Tabel 22).

Tabel 22. Perhitungan alokasi jumlah KJA untuk setiap kabupaten di kawasan Danau Toba berdasarkan berbagai kriteria dengan faktor koreksi dari luas lahan pertanian

Kabupaten	Jumlah KJA yang dapat ditanam dengan memperhatikan luas lahan pertanian (unit)
Karo	338
Dairi	422
Simalungun	1.409
Samosir Utara (40%)	1.354
Samosir Selatan (60%)	2.032
Toba Samosir	1.178
Humbang	369
Tapaneli Utara	750
	7.851

Alokasi jumlah KJA yang ditetapkan melalui berbagai skenario di atas adalah dengan mempertimbangkan fungsi utama Danau Toba untuk kepentingan pariwisata, serta memperhatikan penduduk lokal yang membutuhkan lahan untuk mata pencahariannya.

Pengembangan sistem budidaya ikan yang lebih baik, diantaranya melalui peningkatan efisiensi pakan dan pemanfaatan sisa pakan yang lepas ke perairan disertai pengelolaan limbah-limbah dari DTA dapat meningkatkan jumlah KJA yang dapat ditanam.

ACUAN HUKUM DAN KEBIJAKAN ARAHAN KONSERVASI DANAU

KONSERVASI DANAU merupakan suatu tahapan pengelolaan sumber daya hayati dan ekosistemnya secara bijaksana, dalam rangka pemanfaatan yang optimal dan berkelanjutan. Arahkan konservasi danau sebagai bagian dari ekosistem daratan, bagian dari habitat biota, dan sebagai bagian dari potensi sumber daya air dapat mengacu pada berbagai konvensi, peraturan, dan perundangan yang berlaku.

KONVENSI INTERNASIONAL

Konvensi/instrumen internasional dapat digunakan secara langsung dan tidak langsung untuk pemanfaatan serta pengelolaan sumber daya perairan danau dan pelestariannya, seperti Agenda 21, Konvensi Keragaman Hayati dan Konvensi Ramsar.

Agenda 21

Konferensi Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Lingkungan dan Pembangunan (UNCED; *United Nation on Environment and Development*) yang berlangsung pada Juni 1992 di Rio de Janeiro, Brazil, menetapkan lima dokumen, di antaranya Agenda 21. Pasal 18 dari Agenda 21 menetapkan bahwa sumber daya air tawar merupakan komponen penting Hidrosfir Bumi dan tidak dapat diabaikan sebagai bagian dari sistem daratan secara keseluruhan. Hal ini mengharuskan untuk melindungi lingkungan perairan darat, di antaranya

dengan perhatian pada program Perlindungan Sumber Daya Air, Kualitas Air, dan Ekosistem Perairan. Tiga aktivitas yang dapat diimplementasikan meliputi:

1. Konservasi dan perlindungan sumber daya air;
2. Perlindungan ekosistem perairan; dan
3. Perlindungan sumber daya hayati perairan darat, yang meliputi:
 - Pemantauan dan pengendalian kualitas air yang memungkinkan pengembangan perikanan yang berkelanjutan;
 - Perlindungan ekosistem dari pencemaran dan kerusakan dari pembangunan proyek budi daya perikanan.

Konvensi Keragaman Hayati

Konvensi Keragaman Hayati (CBD; *Convention on Biological Diversity*) memiliki tiga prinsip utama, yaitu:

1. Konservasi keragaman hayati;
2. Pemanfaatan yang berkelanjutan dari komponennya;
3. Pembagian yang adil dan seimbang dari keuntungan yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan sumber genetik.

Dalam perhatian terhadap wilayah perairan darat seperti danau, ditetapkan tiga karakteristik utama dari keragaman hayati:

1. Keragaman hayati perairan darat bertumpu pada ekosistem dan habitat yang mengandung keragaman tinggi serta spesies endemik dan terancam dalam jumlah besar, yang unit atau berasosiasi dengan proses ekologis penting;
2. Ekosistem perairan darat membentuk fungsi ekologis yang bernilai, serta spesies, genom, dan genetik yang penting secara sosial, ekonomi, serta keilmuan.
3. Fungsi-fungsi ekologis penting yang ditampilkan ekosistem perairan darat meliputi pemeliharaan keseimbangan hidrologis; penahanan sedimen dan nutrisi; serta penyediaan habitat untuk berbagai hewan, meliputi burung migran dan mamalia.

Konvensi Ramsar

Konvensi Ramsar terkait perhatian pada lahan basah menyangkut kepentingan internasional, terutama sebagai Habitat Burung Air (*Ramsar Convention on Wetland of Intenational Importance Especially as Waterfowl Habitat*) (1971). Konvensi ini dirancang untuk mengantisipasi kerusakan lahan basah akibat aktivitas manusia. Untuk konvensi ini, terminologi lahan basah adalah daerah-daerah rawa, paya, lahan gambut, dan perairan tetap atau sementara dengan air tergenang atau mengalir, baik perairan tawar, payau maupun asin, termasuk perairan laut hingga kedalaman 6 m. Konvensi ini membutuhkan negara-negara dalam hal:

1. Merancang wilayah untuk didaftar sebagai lahan basah internasional yang penting, terutama untuk kepentingan burung air;
2. Mempromosikan konservasi dari lahan basah yang telah didaftarkan dan yang tidak didaftarkan;
3. Mempromosikan konservasi burung air.

PERATURAN/PERUNDANGAN NASIONAL

Dalam kebijakan nasional, upaya konservasi danau dapat mengacu pada beberapa peraturan/perundangan dan beberapa konvensi, di antaranya menyangkut pengaturan ruang, perlindungan lingkungan, perlindungan sumber daya air, dan perlindungan sumber daya hayati.

Undang-undang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya

Undang-undang (UU) ini ditetapkan sebagai UU No. 5 Tahun 1990 dan mengemukakan perlunya pengelolaan sumber daya alam hayati yang pemanfaatannya dilakukan secara bijaksana untuk menjamin kesinambungan persediaannya, dengan tetap memelihara dan meningkatkan kualitas keanekaragaman serta nilainya.

Dalam undang-undang ini juga dikemukakan bahwa sumber daya hayati mempunyai peranan penting bagi kehidupan, serta merupakan bagian integral dari pembangunan nasional yang berkelanjutan. Upaya pengelolaan sumber daya alam hayati tersebut diselenggarakan melalui:

1. Perlindungan sistem penyangga kehidupan yang ditujukan bagi terpeliharanya proses ekologis yang menunjang kelangsungan kehidupan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mutu kehidupan manusia;
2. Pengawetan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa beserta ekosistemnya;
3. Pemanfaatan secara lestari sumber daya alam hayati dan ekosistemnya, yaitu bahwa pemanfaatan jenis tumbuhan dan satwa liar dilakukan dengan memperhatikan kelangsungan potensi, daya dukung, dan keanekaragaman jenisnya.

Undang-Undang Penataan Ruang

Undang-undang ini ditetapkan sebagai UU No.26 Tahun 2007, yang memberikan landasan hukum bagi penataan ruang yang meliputi proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatan ruang. Dalam kerangka Negara Kesatuan Republik Indonesia, penataan ruang diselenggarakan berdasarkan asas:

1. Keterpaduan;
2. Keserasian, keselarasan, dan keseimbangan;
3. Keberlanjutan;
4. Keberdayagunaan dan keberhasilgunaan.

Penyelenggaraan penataan ruang bertujuan untuk mewujudkan ruang wilayah nasional yang aman, nyaman, produktif, dan berkelanjutan berlandaskan Wawasan Nusantara dan Ketahanan Nasional untuk mewujudkan:

1. Keharmonisan antara lingkungan alam dan lingkungan buatan;
2. Keterpaduan dalam penggunaan sumber daya alam dan sumber daya buatan dengan memperhatikan sumber daya manusia;

3. Perlindungan fungsi ruang dan pencegahan dampak negatif terhadap lingkungan akibat pemanfaatan ruang.

Penataan ruang diselenggarakan dengan memperhatikan:

1. Kondisi fisik wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia yang rentan terhadap bencana;
2. Potensi sumber daya alam, sumber daya buatan, sumber daya manusia, kondisi sosial, ekonomi, budaya, politik, hukum, pertahanan keamanan, lingkungan hidup, serta ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai satu kesatuan;
3. Geostrategi, geopolitik, dan geoekonomi.

Undang-Undang Sumber Daya Air

Undang-undang ini ditetapkan sebagai UU No.7 Tahun 2004, yang di antaranya mengamanatkan:

1. Sumber daya air dikelola secara menyeluruh, terpadu, dan berwawasan lingkungan hidup dengan tujuan mewujudkan kemanfaatan sumber daya air yang berkelanjutan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat;
2. Konservasi sumber daya air ditujukan untuk menjaga kelangsungan, keberadaan, daya dukung, daya tampung, dan fungsi sumber daya air. Ketentuan tentang konservasi sumber daya air ini menjadi salah satu acuan dalam perencanaan tata ruang, di antaranya pada sungai, danau, rawa, DTA, kawasan suaka dan pelestarian alam, serta kawasan hutan.
3. Perlindungan dan pelestarian sumber air ditujukan untuk melindungi dan melestarikan sumber air beserta lingkungan keberadaannya terhadap kerusakan atau gangguan yang disebabkan oleh daya alam, dan yang disebabkan oleh tindakan manusia.
4. Pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air ditujukan untuk mempertahankan dan memulihkan kualitas air yang masuk dan pada sumber-sumber air.

Undang-undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Undang-undang ini ditetapkan sebagai UU No.32 Tahun 2009, yang mengemukakan bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup adalah upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup serta mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum.

Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup di antaranya bertujuan menjamin kelangsungan kehidupan makhluk hidup dan kelestarian ekosistem, menjaga kelestarian fungsi, mencapai keserasian, keselarasan, dan keseimbangan lingkungan hidup, serta menjamin pemenuhan dan perlindungan hak atas lingkungan hidup sebagai bagian dari hak asasi manusia.

Untuk mewujudkan lingkungan yang sehat, telah ditetapkan pula beberapa Peraturan Pemerintah (PP), seperti PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Sedangkan untuk pelaksanaan pengelolaan ditetapkan dalam beberapa Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup (Kepmen LH), di antaranya:

1. Kepmen LH No. 110/2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air;
2. Kepmen LH No. 115/2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.

Peraturan Pemerintah yang Menetapkan Danau sebagai Kawasan Perlindungan Setempat

Peraturan Pemerintah (PP) No. 47/1997 yang menetapkan Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional mengemukakan bahwa kawasan lindung adalah kawasan yang ditetapkan dengan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumber daya alam dan sumber daya buatan.

Kawasan lindung yang ditetapkan pada PP ini meliputi:

1. Kawasan yang memberikan perlindungan kawasan di bawahnya;
2. Kawasan perlindungan setempat;
3. Kawasan suaka alam;
4. Kawasan pelestarian alam;
5. Kawasan cagar budaya;
6. Kawasan rawan bencana alam;
7. Kawasan lindung lainnya.

PP No. 47/1997 ini telah menetapkan bahwa danau/waduk merupakan kawasan perlindungan setempat yang harus dilindungi dari berbagai usaha dan/atau kegiatan yang dapat mengganggu kelestarian dan fungsinya (Pasal 41 ayat 2). Sasaran pengelolaan kawasan lindung ini diselenggarakan di antaranya untuk mempertahankan keanekaragaman hayati, satwa, tipe ekosistem, dan keunikan alam (Pasal 40 ayat 2). Sementara, pada pasal 34 ayat 3 PP ini memberikan arahan bahwa daratan sepanjang tepian danau yang lebarnya proporsional dengan bentuk dan kondisi fisik danau antara 50–100 m dari titik pasang tertinggi ke arah daratan merupakan kawasan lindung.

Undang-Undang Perikanan Republik Indonesia

Undang-undang Perikanan ini ditetapkan sebagai UU No. 45 Tahun 2009 tentang Perubahan atas UU No. 31 Tahun 2004 yang mempertimbangkan bahwa perairan yang berada dalam Negara Kesatuan Republik Indonesia mengandung sumber daya ikan yang potensial dan sebagai lahan pembudidayaan ikan serta merupakan berkah dari Tuhan Yang Maha Esa yang diamanatkan untuk dimanfaatkan dengan memperhatikan daya dukung dan kelestariannya, serta untuk sebesar-besarnya kesejahteraan dan kemakmuran rakyat Indonesia.

Pasal 1 ayat 8 UU No. 45/2009 juga menetapkan bahwa konservasi sumber daya ikan adalah upaya perlindungan, pelestarian, dan pemanfaatan sumber daya ikan, termasuk ekosistem, jenis, dan genetik untuk menjamin keberadaan, ketersediaan, serta kesinambun-

gannya dengan tetap memelihara dan meningkatkan kualitas nilai dan keanekaragamannya.

Dalam hal kebijakan pengelolaan sumber daya ikan, Menteri Kelautan dan Perikanan (Pasal 7) menetapkan:

1. Potensi dan alokasi sumber daya ikan di wilayah perairan Republik Indonesia;
2. Potensi dan alokasi lahan pembudidayaan ikan di wilayah perairan Republik Indonesia;
3. Daerah, jalur, dan waktu atau musim penangkapan ikan;
4. Jenis ikan dan wilayah penebaran kembali serta penangkapan ikan berbasis budi daya;
5. Pembudidayaan ikan dan perlindungannya;
6. Pencegahan pencemaran dan kerusakan sumber daya ikan serta lingkungannya;
7. Rehabilitasi dan peningkatan sumber daya ikan serta lingkungannya;
8. Kawasan konservasi perairan;
9. Jenis ikan yang dilindungi.

UU No. 31 Tahun 2004 menetapkan tujuan pelaksanaan pengelolaan perikanan (Pasal 3), di antaranya mencapai pemanfaatan sumber daya ikan, lahan pembudidayaan ikan, dan lingkungan sumber daya ikan secara optimal (ayat h) serta menjamin kelestarian sumber daya ikan, lahan pembudidayaan ikan, dan tata ruang (ayat i).

Undang-Undang Pariwisata

Undang-undang ini ditetapkan melalui UU No. 10 Tahun 2009. Selain mengatur penyelenggaraan kepariwisataan, juga mengatur pembangunan kepariwisataan yang komprehensif dan berkelanjutan. Pada UU ini dikemukakan bahwa daya tarik wisata adalah segala sesuatu yang memiliki keunikan, keindahan, dan nilai yang berupa keanekaragaman kekayaan alam, budaya, serta hasil buatan manusia.

Pada pasal 4 UU No. 10/2009 dikemukakan bahwa salah satu tujuan kepariwisataan adalah melestarikan alam, lingkungan, dan sumber daya. Pada UU ini juga ditetapkan bahwa kawasan strategis pariwisata (Pasal 12) dilakukan di antaranya dengan memperhatikan aspek perlindungan terhadap lokasi tertentu yang mempunyai peran strategis dalam menjaga fungsi dan daya dukung lingkungan hidup.

PENUTUP

PENGELOLAAN SECARA TERPADU perairan danau sudah saatnya dimulai, mengingat kepentingan untuk memanfaatkan sumber daya yang dimilikinya semakin bertambah sehingga permasalahan dan konflik kepentingan pun semakin meningkat. Di sisi lain, pemahaman masyarakat akan pentingnya lingkungan yang baik terus berkembang dan mendorong setiap pemangku kepentingan untuk memberikan perhatian yang lebih tinggi terhadap perairan danau yang harus lebih terjaga.

Budi daya ikan di dalam KJA yang telah berkembang di berbagai danau perlu mendapat perhatian sehingga arahan pengembangannya sudah sangat diperlukan. Mitigasi ancaman lingkungan dari pengembangan KJA adalah suatu arahan kebijakan pengembangan sistem budi daya yang mengacu pada daya dukung dengan formulasi yang tersedia dan tingkat status tropik tertentu, serta penetapan mintakat yang memperhatikan berbagai pemanfaatan sumber daya danau oleh masyarakat. Buku ini dapat dijadikan sebagai rujukan untuk danau-danau lain di Indonesia, dengan tetap memperhatikan ciri khas danau yang bersangkutan serta aspek pemanfaatannya. Sebagaimana suatu arahan kebijakan, pada tataran implementasi diperlukan diskusi dan pembahasan yang mendalam dengan berbagai pemangku kepentingan serta melakukan perbandingan dengan berbagai kajian yang telah ada.

Satu hal yang jelas bahwa perairan Danau Toba berada di bawah kewenangan tujuh kabupaten. Dengan demikian, kabupaten-kabupaten tersebut harus dapat berkoordinasi dalam memanfaatkan setiap

ruang danau untuk budi daya ikan dalam KJA dengan memperhatikan kepentingan kabupaten di sekitarnya, dan mengalokasikan sebagian wilayah danau untuk kepentingan lain.

Arahan ini bukanlah suatu yang baku, namun perlu dikritisi untuk mendapatkan kebijakan yang optimal, baik untuk kepentingan Danau Toba maupun danau lain. Suatu hal yang perlu diupayakan dalam pengembangan KJA di perairan danau adalah meminimalkan konflik kepentingan, stabilitas ekologis terjaga, dan usaha budi daya ikan dapat berlanjut.

REKOMENDASI

Beberapa hal perlu ditindaklanjuti dalam tatanan implementasi dari naskah dan pemikiran yang terangkum dalam buku, yaitu:

1. Perlu penyadaran pemahaman kepada masyarakat bahwa kepentingan perairan Danau Toba tidak hanya untuk kelompok pembudidaya ikan, tetapi juga berbagai kebutuhan kehidupan masyarakat lain;
2. Para pemangku kepentingan (*stakeholders*) seperti dinas-dinas terkait di Provinsi Sumatera, Kepala Daerah Tingkat II, di kabupaten seputar Danau Toba, Lembaga Riset, dan Perguruan Tinggi terkait, perlu berpartisipasi aktif dalam peningkatan pemahaman perlindungan ekosistem perairan Danau Toba;
3. Penetapan kawasan KJA harus dimusyawarahkan bersama semua kabupaten di kawasan Danau Toba, dengan menetapkan secara jelas wilayah-wilayah aktivitas yang membutuhkan kondisi air dengan kualitas yang tinggi, seperti *intake* air minum dan sumber air masyarakat setempat, wilayah suaka, dan wilayah pariwisata perairan;
4. Melaksanakan pemantauan kualitas air secara rutin dengan parameter baku mutu yang ditetapkan, di lokasi yang mewakili aktivitas di perairan Danau Toba;

5. Perlu dilakukan upaya-upaya meminimumkan beban pencemar ke perairan danau sehingga daya dukung untuk aktivitas KJA dapat ditingkatkan, di antaranya mengoptimalkan peran pengolahan limbah domestik yang telah ada; mengembangkan pengolahan limbah domestik masyarakat desa/dusun dengan pengolahan limbah yang sederhana; dan mengembangkan sistem pertanian yang ramah lingkungan;
6. Kegiatan budi daya ikan di KJA dengan menerapkan “*zero waste*”, di antaranya penerapan KJA bertingkat, pemberian pakan dengan FCR tinggi, *restocking* ikan pemangsa sisa pakan di sekitar KJA, dan pengangkatan serta pengolahan ikan-ikan mati, di antaranya untuk dijadikan silase;
7. Penataan ruang kawasan KJA yang lebih teratur untuk menciptakan sirkulasi air dan limbah yang lebih lancar serta pengangkatan berbagai limbah dari aktivitas budi daya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwilaga, E.M. 1999. Pengelolaan Perikanan di Waduk Saguling dan Cirata suatu Tinjauan Ekologi. *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. IPB-Ditjen Bangda-Ditjen Pengairan—KLH. XIX (1–8).
- Anonim. 2008. Studi Pengelolaan Keseimbangan Air Sehubungan dengan Pemasukan dan Pengelolaan Air Danau Toba. *Laporan Hidrologi*. Dep. PU, Dirjen Sumber Daya Air, Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Sumatera II. 38 hlm.
- Anonim. 2009. Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan/atau Waduk. *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009*. Kemen. Negara LH. 22 hlm.
- Anonim. 2011. Statistik Perikanan Budidaya Provinsi Sumatera Utara Tahun 2010. *Laporan Tahunan*. Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sumatera Utara. 148 hlm.
- Ardika, G. 1999, Danau dan Waduk dalam Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan (*Lake and Reservoir in the Development of Continuable Tourism System*), Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk, PPLH-IPB, Ditjen Bangda-Depdagri, Ditjen Pengairan-Dep. PU, dan Kantor Men. LH. Bogor. hlm. IV (1–13).
- Arifin, S. 2004. Pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba yang Berwawasan Lingkungan. *Prosiding Lokakarya Danau Kedua Pengelolaan Danau Berwawasan Lingkungan di Indonesia*. Forum Danau Indonesia (FDI)-ILEC, hlm. 89–95.
- Asmawi, S. 1986. *Pemeliharaan Ikan dalam Karamba*. PT Gramedia Jakarta. 82 hlm.
- Azwar, Z.I., N. Suhenda, & O. Praseno. 2004. Manajemen Pakan pada Usaha Budi Daya Ikan dalam Karamba Jaring Apung. Dalam: Sudradjat, A., S.E. Wardoyo, Z.I. Azwar, H. Supriyadi, & B. Priono (Penyunting). *Pengembangan Budi Daya Perikanan di Perairan Waduk. Suatu Upaya Pemecahan Masalah Budi Daya Ikan dalam Karamba Jaring Apung*. Pusat Riset Perikanan Budidaya, BRKP, DKP. Hal.37–44.

- Babler, A., C.T. Solomon & P.R. Schilke. 2008. Depth-specific Pattern of Benthic Secondary Production in An Oligotrophic Lake. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 27(1): 108–119.
- Beveridge. 1984. *Cage Aquaculture*. Fishing News Books, Ltd. Fornham Survey, 352 p.
- Cornett, R.J & F.H. Rigler. 1987. Decomposition of Seston in the Hipolimnion. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44: 146–151.
- Danakusumah, E. & H. Herawan. 2000. Kematian Massal Ikan Budi aya di Perairan Waduk dan Kemungkinan Penanggulangannya. *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. Universitas Padjadjaran. I: 306–314.
- Dharma, L. 1988. Percobaan Pemeliharaan Ikan Mas dalam Jaring Terapung di Ambarita-Danau Toba, Sumatera Utara. *Bull. Penel. Perik. Darat*, 7(2): 32–40.
- Djajasamita, M. 1977. An Annotated list of the Species of the Genus *Corbicula* from Indonesia (Mollusca: Corbiculidae). *Bull. Zool. Museum*. Univ. van Amsterdam, 6(1): 1–8.
- Fakhrudin, M., H. Wibowo, L. Subehi, dan I. Ridwansyah. 2002. Karakterisasi Hidrologi Danau Maninjau Sumatera Barat. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*. Pusat Penelitian Limnologi–LIPI, 65–75.
- Frisk, T. 1982. An Oxygen Model for Lake Haukivesi. *Hydrobiologia* 86: 133–139.
- Garno, Y. S. dan T. A. Adibroto. 1999. Dampak Penggemukan Ikan di Badan Air Waduk Multiguna pada Kualitas Air dan Potensi Waduk. *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. IPB-Dep. PU–Men LH. XVII: 1–10.
- Garno, Y. S. 2002. Beban Pencemaran Limbah Perikanan Budi Daya dan Yutrofikasi di Perairan Waduk pada DAS Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2): 112–120.
- Haeruman, H.J. 1999. Kebijakan Pengelolaan Danau dan Waduk Ditinjau dari Aspek Tata Ruang. *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. PPLH-IPB, Ditjen Bangda Depdagri, Ditjen Pengairan, Kantor Meneg. Lingkungan Hidup. Hlm. I: 1–9.
- Harris, G. P. 1986. *Phytoplankton Ecology*. Structure, Function and Fluctuation. Chapman & Hall. London. 384 p.
- Hartoto, D. I., A. Sarnita, D. S. Safei, A. Satya, Y. Syawal, Sulastri, M.M. Kamal & Y. Siddik. 1998. *Kriteria Evaluasi Suaka Perikanan Perairan Darat*. Puslit Limnologi-LIPI. 51 hlm.
- Hartoto, D.I. 2002. Peran Pengembangan Sistem Reservat dalam Pengelolaan Berkelanjutan Perikanan Darat. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*. Puslit Limnologi-LIPI. Hlm. 273–296.

- Higashino M, O'Connor B.L. Hondzo M., Stefan H.G. 2008. Oxygen Transfer from Flowing Water to Microbes in an Organic Sediment Bed. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-008-9508-8.
- Kartamihardja, E.S. 1987. Potensi Produksi dan Pengelolaan Perikanan di Danau Toba, Sumatera Utara. *Bull. Penel. Perik. Darat*, 6(1): 65–77.
- Kartamihardja, E. S. & A. S. Sarnita. 2008. *Populasi Ikan Bilih di Danau Toba*. Keberhasilan Introduksi Ikan, Implikasi Pengelolaan dan Prospek Masa Depan. Pusat Riset Perikanan Tangkap-BRKP-Kementerian Kelautan dan Perikanan. 49 hlm.
- Klessig, L.L 2001. Lakes and Society: The Contribution of Lakes to Sustainable Societies. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 6: 95–101.
- Koenings J.P & J.A. Edmundson, 1991. Sechi Disk and Photometer Estimates of Light Regimes in Alaskan lakes: Effects of Yellow Color and turbidity. *Limnology and Oceanography*, 36(1): 91–105.
- Koeshendrajana, S., Y. D. Sari, E. Reswati & R. Hafsaridewi. 2010. Valuasi Sosial Ekonomi Dampak Penebaran Ikan Bilih di Danau Toba, Sumatera Utara. Kementerian Kelautan dan Perikanan (*Tidak dipublikasikan*).
- Kottelat, M., A.J. Whitten, S.N. Kartikasari, & S. Wirjoatmodjo, 1993. *Freshwater Fishes of Western Indonesia and Sulawesi*. Ikan Air Tawar Indonesia Bagian Barat dan Sulawesi. Periplus Edition. 293 hlm 84 lamp.
- Krismono, A.S. N & A, S. Sarnita. 2003. Penilaian Ulang Lima Suaka Perikanan di Danau Toba berdasarkan Kualitas Air dan Parameter Perikanan Lainnya. *Jurnal Penel. Perik. Indonesia*, 9(3): 1–11.
- Lewis, W.M. Jr. 2000. Basis for the Protection and Management of Tropical Lakes. *Lake & Reservoir: Research and Management*, 5: 35–48.
- LTEMP. 2006. Internalisasi Pedoman Pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba. BKPEKTD. Medan. 39 hlm.
- Lukman. 1996. Neraca Oksigen di Lokasi Jaring Apung Wilayah Bongas, Waduk Saguling. *Prosiding Ekspose Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi-LIPI Tahun 1995/1996*. Puslit Limnologi-LIPI. Hlm. 47–60.
- Lukman & Hidayat. 2002. Beban dan Distribusi Bahan Organik di Waduk Cirata, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3 (2): 129–135.
- Lukman, T. Suryono, T. Chrismadha, M. Fakhruddin, & J. Sudarso. 2008. Struktur Komunitas Biota Benthik dan Kaitannya dengan Karakteristik Sedimen di Danau Limboto, Sulawesi. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 34(3): 479–494.
- Lukman, M. Badjoeri, Y. Syawal, & H.A. Rustini. 2009. Antisipasi Bencana Lingkungan Perairan Danau Toba Melalui Penetapan Daya Dukung dan Pemintakatan Wilayah Budidaya. *Laporan Akhir Tahun 2009 Kegiatan Program Kompetitif-LIPI*. Puslit Limnologi-LIPI. 79 hlm.

- Lukman. 2010. Faktor-faktor Pertimbangan dalam Penetapan Tata Ruang Perairan Danau. Studi Kasus Danau Toba. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V, tahun 2010*. Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. Hlm. 354–369.
- Lukman. 2011. Ciri Wilayah Eufotik Perairan Danau Toba. *Prosiding Seminar Nasional Hari Lingkungan Hidup 2011*. “Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup Berbasis Kearifan Lokal. PPLH–LPPM Unsoed, Ikatan Ahli Lingkungan Hidup Indonesia. Tema II. Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Hlm. 130–139.
- Lukman & I. Ridwansyah. 2009. Telaah Kondisi Fisik Danau Poso dan Prediksi Ciri Ekosistem Perairannya. *Limnotek, Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 16 (2): 64–73.
- Lukman & I. Ridwansyah. 2010. Kajian Morfometri dan Beberapa Parameter Stratifikasi Perairan Danau Toba. *Limnotek, Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 17 (2): 158–170.
- Lukman, M. Badjoeri, S.H. Nasution. 2010. Antisipasi Bencana Lingkungan Perairan Danau Toba Melalui Penetapan Daya Dukung dan Pemintakatan Wilayah Budi Daya. *Laporan Akhir Tahun 2010 Kegiatan Program Kompetitif-LIPI*. Puslit Limnologi-LIPI. 70 hlm.
- Lukman. 2011. Pengembangan Karamba Jaring Apung, Pertimbangan Daya Dukung dan Ancamannya terhadap Lingkungan Perairan Danau. *Bagian dari buku. Dalam*: H. Z. Anwar & H. Harjono (Editor). Perspektif terhadap Kebencanaan dan Lingkungan di Indonesia: Studi Kasus dan Pengurangan Dampak Risikonya. Sub Kegiatan Kompetitif Kebencanaan dan Lingkungan-LIPI. Hlm. 173–193.
- Lukman. 2011. Hydrology and Morphometry Characteristic Consideration on Determining Lake Toba Carrying Capacity for Cage Aquaculture. *Prosiding Simposium Nasional Ekohidrologi. “Integrity Ecobydrological Principles for Good Water Governance” APCE. UNESCO–LIPI. Jakarta 25 September 2011*. p. 185–187.
- Lukman & A. Hamdani. 2011. Estimasi Daya Dukung Perairan Danau Toba Sumatera Utara untuk Pengembangan Budidaya Ikan dengan Karamba Jaring Apung. *Limnotek, Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 18(2): 59–67.
- Mason 1988. *Biology of Freshwater Pollution*. Longman Sci & Technical. Singapore. 250 p.
- Meigh, J., M. Acreman, K. Sene & J. Purba. 1990. The water balance of Lake Toba. *International Conference on Lake Toba, May 1990*. Jakarta, Indonesia.
- Miranda L.E., Hargreaves J.A., & Raborn S.W. 2001. Predicting and Managing Risk of Unsuitable Dissolved Oxygen in a Eutrophic Lake. *Hydrobiologia*, 457: 177–185.

- Nöges, T., R. Laugaste, P. Nöges & I. Tönno. 2008. Critical N: P Ratio for Cyanobacteria and N₂-fixing Species in the Large Shallow Temperate Lakes Peipsi and Võrtsjärv, North-East Europe. *Hydrobiologia*, 599: 77–86.
- Nomosatryo & Lukman. 2011. Ketersedian Hara di Perairan Danau Toba, Sumatera Utara. *Limnotek, Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 18(2): 20–29.
- Odum E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Third edition. Sunders Coll. Publ.
- Pena M.A., Katsev S., Oguz T., & Gilbert D. 2010. Modeling Dissolved Oxygen Dynamics and Hypoxia. *Biogeosciences*, 7: 933–957.
- Petts G.E., 1984, Impounded Rivers. Prespectives for Ecological Management, John Wiley & Sons. Singapore. 326 pp.
- Purnomo, K., E.S. Kartamihardja, Wijopriyono, Z. Fahmi, M.M. Wahyono, R. Faizah & A.S. Sarnita. 2005. Riset Pemetaan Kapasitas Sumber Daya Ikan dan Lingkungan di Danau Toba, Sumatera Utara, Pusat Riset Perikanan Tangkap, BRKP-DKP. 31 hlm.
- Ruttner, F. 1930. Hydrographische und hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatera und Bali. Pp: 196–454. In: A. Thienemann. *Archiv für hydrobiologie. Organ Der Internationalen Für Theoretische und Angewandte Limnologie*. Supplement-Band VIII. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Ewin Nagele) G.m.b.H. Stuttgart.
- _____. 1955. Planktonstudien der Deutschen Limnologischen Sunda Expedition, *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 21: 1–274.
- Sarnita, A.S. 1999. *Introduction and Stocking of Freshwater Fishes into Inland Waters of Indonesia*. In: W.I.T. van Densen & M.J. Morris (eds). *Fish and Fisheries of Lakes and Reservoirs in Southeast Asia and Africa*. Westbury Publ., Otley, UK. Pp. 143–150.
- Schmittou, H.R. 1991. *Budidaya Keramba. Suatu Metode Produksi Ikan di Indonesia*. Proyek Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Indonesia–Auburn University International Center for Aquaculture. 126 hlm.
- Sastromijoyo, S. 1990. *Some Hydrological Aspect of Lake Toba*. Inst. of Hydrologic Eng. Agency of R & D Ministry of Public Work, Republic of Indonesia. P. 18.
- Sitompul, R., L.U. Sitanggang, H.D. Putra, Roswita, R. Sagala, D. Y. Mulyati, 2007. *Profil Pantai dan Perairan Danau Toba*. BPBPEKDT, Medan.
- Sly, P.G. 1978. *Sedimentary Processes in Lakes*. In: Lerman, A (Ed.). *Lakes; Chemistry, Geology, Physics*, Springer-Verlag, New York. 65–89.
- Soerjani, M., S. Wargasasmitha, A. Djalil, & S. Tjitrosoedirdjo. 1979. Survei Ekologi Danau Toba. *Laporan Akbir. Tahun. 1978–1979*. Univ. Indonesia-Dep. PU. 24 hlm.

- Stevens C.L., & Lawrence G.A. 1997. Estimation of Wind-forced Internal Seiche Amplitudes in Lakes and Reservoirs, with Data from British Columbia, *Can. Aquat.Sci.* 59: 115–134.
- Sudarsono, U. 1989. *Toba Lake and Its Problems*. Directorate of Environmental Geology. Bandung Indonesia. P. 16.
- Sulastri. 2002. Komposisi, Kelimpahan dan Distribusi Fitoplankton sebagai Dasar Analisis Kondisi Pencemaran Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*. Puslit Limnologi–LIPI. Hlm. 255–271.
- Sulawesty, F. 2011. Komunitas Fitoplankton di Danau Toba. *Limnotek, Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 18(2): 40–489.
- Suwelo, I. S., S. Supangat & C. Yunita. 1986. Pelestarian Rawa, Danau dan Sungai Habitat Biota Langka. Limnologi dan Konservasi Lingkungan Hidup. *Dalam: A. Nontji, C. Muluk, & F. Sabar (Editor). Prosiding Ekspose Limnologi dan Pembangunan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi-LIPI. Hlm. 87–95.
- Syandri, H. 2000. Karamba Jaring Apung dan Permasalahannya di Danau Maninjau. *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. Jurusan Perikanan, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Hlm. 2: 16–25.
- Tjahjo D. W., A. S. Nastiti, K. Purnomo, E. S. Kartamihardja & A. Sarnita. 1998. Potensi Sumberdaya Perikanan di Danau Toba, Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, IV(1): 1–12.
- Vollenweider, R.A & J. Kerekes. 1980. The Loading Concept as Basis for Controlling Eutrophication Philosophy and Preliminary Result of the OECD Programme on Eutrophication. Eutrophication of Deep Lakes. *Proceedings of a Seminar held in Gjøvic, Norway, June 1978*. Pergamon Press, Oxford, New York. p. 5–38.
- Welch P.S. 1952. *Limnology*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 538 pp.
- Welsh B.L. & C.F. Eller. 1991. Mechanisms Controlling Summertime Oxygen Depletion in Western Long Island Sound. *Estuaries*, 14(3): 265–278.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystem*. 3rd Edition. Acad. Press, San Diego.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. W. B. Saunders College Publ., Philadelphia. 743 pp.

LAMPIRAN

Perhitungan daya dukung Perairan Danau Toba untuk produksi ikan di dalam karamba jaring apung mengikuti rumusan Beveridge (1984)

Rumus untuk menentukan beban Total Phosphor (TP) yang dapat diterima danau dari aktivitas budi daya ikan (L_{fish}), yaitu:

$$L_{fish} = \Delta P zQ / (1 - R_{fish}) \quad (1)$$

ΔP = Kapasitas perairan yang masih tersedia untuk menerima TP dari aktivitas Budi daya ikan intensif ($\mu\text{g/l}$)

z = Kedalaman rata-rata danau (m)

Q = Laju penggelontoran (*flushing rate*) danau/tahun

ΔP = $[P]_f - [P]_i$;

$[P]_f$ = TP rata-rata yang dapat diterima perairan ($\mu\text{g/l}$)

$[P]_i$ = TP awal ($\mu\text{g/l}$)

Kedalaman rata-rata danau (z) diperoleh dari membagi volume danau (v) dengan luas danau (L) (Sumber: Lukman & Ridwansyah, 2010);

$$v = 256.200.000.000 \text{ m}^3$$

$$L = 1.124.000.000 \text{ m}^2$$

$$z = 227,9 \text{ m}$$

Laju penggelontoran (Q) adalah pembagian 1 dengan debit air (Q) yang keluar per tahun.

Debit air yang keluar dari danau per tahun berdasarkan debit per detik (m^3/detik) yang mencapai rata-rata $100 \text{ m}^3/\text{detik}$. (Kisaran debit di Sungai Asahan (*outlet* Danau Toba) di Siruar: Periode 1920–1932 rata-rata $110,4 \text{ m}^3/\text{detik}$; Periode 1957–1975 rata-rata $104,4 \text{ m}^3/\text{detik}$; Periode 1976–1988 rata-rata $90 \text{ m}^3/\text{detik}$; Sumber: Sastromijoyo, 1990).

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \text{ dt} \times 60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam} \times 365 \text{ hari} \\ 3.153.600.000 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$Q = 1/3.153.600.000 \\ 0.0123091334894614$$

Rata-rata TP yang dapat diterima perairan danau ([P]f) mengacu pada tingkat kesuburan yang masih memungkinkan, yang ditetapkan dengan berbagai skenario sesuai yang akan dikehendaki.

Skenario I: TP rata-rata yang dapat diterima [P]f pada kondisi oligotrofik maksimum ($< 10\mu\text{g/l} \approx 10\mu\text{g/l}$) (Peraturan Pemerintah No.28 tahun 2009);

Skenario II: TP rata-rata yang dapat diterima [P]f pada kondisi oligomesotrofik ($20\mu\text{g/l}$);

Skenario III: TP rata-rata yang dapat diterima [P]f pada rata-rata pengukuran tahun 2009 ($< 24,8\mu\text{g/l} \approx 25,0\mu\text{g/l}$) (Nomosatryo & Lukman, 2011).

Penetapan nilai [P]f untuk kepentingan rekreasi/olah raga air ($0,005\text{ mg/l} \approx 5,0\mu\text{g/l}$) dan kebutuhan air minum ($0,002\text{ mg/l} \approx 2,0\mu\text{g/l}$) (Beveridge, 1984) sangat sulit dicapai di perairan Danau Toba.

Penetapan nilai TP pada kondisi awal Danau Toba [P]i mengacu pada data fosfor 1929, yaitu $5\mu\text{g/l}$ (Ruttner, 1930), mengingat data-data TP lain umumnya sudah cukup tinggi (*Lihat: Soerjani et al, 1979, ILEC & UNEF, 1989, & Poernomo et al, 2005*).

Dengan demikian, kapasitas TP Danau Toba yang masih tersedia untuk budi daya ikan intensif (ΔP) untuk masing-masing skenario adalah:

$$\text{Skenario I} = 10\mu\text{g/l} - 5\mu\text{g/l} \\ 5\mu\text{g/l}$$

$$\text{Skenario II} = 20\mu\text{g/l} - 5\mu\text{g/l} \\ 15\mu\text{g/l}$$

$$\text{Skenario III} = 25\mu\text{g/l} - 5\mu\text{g/l} \\ 20\mu\text{g/l}$$

Kadar TP dari aktivitas budi daya ikan (R_{fish}) dihitung menggunakan rumusan:

$$R_{\text{fish}} = x + [(1-x)R]; \quad (2)$$

x = Proporsi TP tertahan di sedimen ($0,45-0,55 \approx 0,5$; Beveridge, 1984)

R = Proporsi TP terlarut hilang ke sedimen

Untuk menghitung proporsi TP terlarut yang hilang ke sedimen (R) menggunakan rumusan Larsen & Marcier (1976) dalam Beveridge (1984):

$$R = \frac{1}{(1+0,7+7 \cdot 10^{-0,07})(1+0,7+7 \cdot 10^{-0,07})} \quad (3) \\ = 0,903$$

$$R_{\text{fish}} = 0,5 + [1 - 0,5] \times 0,903$$

$$= 0,95$$

Kadar TP yang dapat diterima danau dari aktivitas budi daya ikan (L_{fish}) (Persamaan 1):

$$L_{\text{fish}} \text{ Sken. I} = 5 \times 227,9 \times 0,903 / (1 - 0,95)$$

$$288,6 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{tahun} \text{ atau } 0,289 \text{ mg}/\text{m}^3/\text{tahun}$$

$$L_{\text{fish}} \text{ Sken. II} = 5 \times 227,9 \times 0,903 / (1 - 0,95)$$

$$865,9 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{tahun} \text{ atau } 0,866 \text{ mg}/\text{m}^3/\text{tahun}$$

$$L_{\text{fish}} \text{ Sken. III} = 5 \times 227,9 \times 0,903 / (1 - 0,95)$$

$$1.154,6 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{tahun} \text{ atau } 1,155 \text{ mg}/\text{m}^3/\text{tahun}$$

Secara keseluruhan, TP yang dapat diterima oleh perairan [P]a, yaitu:

$$[P]a = L_{\text{fish}} \times L; \quad (4)$$

L	= luas perairan
L_{fish} Sken. I	= 0,289 mg/m ³ /tahun x 1.124.000.000 m ² 324,44 ton/tahun
L_{fish} Sken. II	= 0,866 mg/m ³ /tahun x 1.124.000.000 m ² 973,32 ton/tahun
L_{fish} Sken. III	= 1,155 mg/m ³ /tahun x 1.124.000.000 m ² 1.297,76 ton/tahun

Nilai-nilai TP ini selanjutnya dikonversi menjadi produksi ikan yang dapat dicapai berdasarkan laju lepasannya dari proses budi daya ikan (Rismeyer, 1998 dalam Azwar *et al*, 2004), dengan memperhatikan kadar TP pada pakan (Garino & Adibroto, 1999) dan faktor rasio konversi pakan (FCR; *Food conversion ratio*) dari tingkat produksi ikan di perairan Danau Toba.

DAFTAR ISTILAH

- Antrofogenik** : Bahan-bahan yang berada atau kondisi yang berlangsung pada suatulingkungan yang bersumber atau dihasilkan dari adanya aktivitas manusia.
- BOD** : *Biological Oxygen Demand*; Kebutuhan oksigen secara biologi, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk penguraian bahan organik yang terurai secara biologis (*biodegradable*) di dalam air; Salah satu kriteria kualitas air yang menunjukkan kuantitas bahan organik yang dikandung di dalam air.
- Daerah Tangkapan Air (DTA)**: Istilah lain dari DAS (Daerah Aliran Sungai) yaitu suatu kesatuan wilayah daratan yang menampung dan mengalirkan air hujan yang jatuh di dalamnya, biasanya dibatasi oleh punggung gunung/bukit, yang kemudian mengalir-kannya ke perairan seperti sungai atau danau; *Catchment area*.
- Debit** : Jumlah atau volume air yang mengalir pada sungai atau alur badan air per per satuan waktu (misal: m³/dtk).
- Endemik** : Hewan atau tumbuhan yang keberadaan atau penyebarannya terbatas pada wilayah tertentu sebagai akibat dari keterisola-siannya dari wilayah lain.
- Eufotik** : Wilayah kolom air tempat berlangsungnya proses produksi primer (fotosintesis) dengan ketersediaan cahaya matahari yang mencukupi. (EZD: *Euphotic Zone Depth*; Kedalaman wilayah eufotik).
- Fitoplankton** : Mikrobiota fotosintetik autotrof perairan yang terdiri dari beragam alga dari hampir setiap taksonomi utama. Sebagian besar fitoplankton tidak memiliki daya, atau memiliki dengan sangat terbatas untuk pergerakannya.
- Epilimnion** : Strata perairan paling atas dengan kerapatan rendah dan kondisi panas kurang lebih seragam, bersirkulasi dan terjadi turbulensi air dengan jelas.

- Eutrofik** : Kriteria tingkat kesuburan perairan (danau) tinggi, dicirikan oleh kadar ketersediaan hara (nitrogen dan fosfor) yang tinggi.
- Hambatan Cahaya**: Penghambatan proses fotosintesis dari fitoplankton pada permukaan perairan sebagai akibat berlebihnya ketersediaan sinar ultraviolet; *Photoinhibition*.
- Hipolimnion** : Strata perairan bagian bawah yang lebih rapat, lebih dingin, dan relatif tenang, terletak di bawah epilimnion.
- Hipereutrofik**: Kriteria tingkat kesuburan perairan (danau) sangat tinggi, dicirikan oleh kadar ketersediaan hara (nitrogen dan fosfor) sangat tinggi.
- Oligotrofik** : Kriteria tingkat kesuburan perairan (danau) yang rendah, dicirikan oleh kadar ketersediaan hara (nitrogen dan fosfor) yang rendah.
- Kecerahan** : Tingkat kebeningan perairan untuk menentukan kedalaman eufotiknya. Kecerahan diukur dengan Keping Secchi (*Secchi disk*), sebuah cakram berdiameter 16–20 cm berwarna hitam dan putih secara berselang, yang ditenggelamkan ke dalam kolom air dan diukur kedalaman maksimum penampakannya; *Transparency*.
- Litoral** : Wilayah danau, umumnya di tepian, dengan dasar perairan yang masih mendapatkan penetrasi cahaya matahari yang mendukung perkembangan biota fotosintetik autotrof.
- Marak** : Kerapatan fitoplankton yang sangat tinggi akibat dari penyuburan perairan, umumnya didominasi oleh alga hijau biru; *Blooming*.
- Mesotrofik** : Kriteria tingkat kesuburan perairan (danau) sedang, dicirikan oleh kadar ketersediaan hara (nitrogen dan fosfor) sedang.
- Metalimnion** : Strata kolom air transisi yang ditandai perubahan panas yang jelas, terletak antara lapisan epilimnion dan hipolimnion.
- Morfometri** : Karakteristik bentang alam badan air danau, di antaranya sebagai ukuran dimensi fisik danau, yang dibutuhkan dalam penentuan waktu tinggal air, potensi produksi hayati, dan menentukan tingkat kepekaan danau terhadap beban serta bahan *allochthonous*.
- Oligomiktik** : Klasifikasi tipe danau berdasarkan pola sirkulasi, yaitu danau-danau yang mengalami pencampuran massa air secara vertikal yang tidak teratur dan jarang.
- Pengembangan Garis Pantai**: Kriteria kondisi garis pantai suatu danau, menunjukkan rasio panjang garis pantai terhadap luasan perairan (tingkat lekukan tepian). Pengembangan garis pantai

menentukan peranan wilayah tepian, memiliki nilai antara 1–2. Nilai 1, bentuk danau mendekati bulat; (*Shore line development; SLD*).

- Stabilitas** : Kuantitas daya tahan (resistensi) stratifikasi terhadap daya hancur oleh angin. Stabilitas danau tergantung dari rasio luas permukaan dan kedalamannya.
- Thermocline** : Suatu lapisan atau permukaan metalimnion yang memiliki laju penurunan suhu maksimum.
- Waktu tinggal**: Lamanya air berada pada satu jalur hidrologi (sungai, danau). Waktu tinggal air ditentukan oleh volume danau dan debit air keluar; *Retention time*.
- Daya Dukung** : Daya dukung situs perairan untuk pengembangan karamba jaring apung (KJA) merupakan suatu kriteria tingkat produksi maksimum yang dapat dicapai berdasarkan kadar total fosfor (TP; *Total Phosphor*) yang masih dapat diterima sesuai kepentingan pemanfaatan perairan tersebut (Beveridge, 1984).
- Tata Ruang Perairan**: Konsepsi penataan ruang perairan danau adalah upaya untuk menjamin keberlangsungan pembangunan dan kelestarian lingkungan danau serta kawasan sekitarnya melalui peningkatan kualitas ruang, meliputi kegiatan perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian pemanfaatannya (Haeruman, 1999). Penetapan kawasan sekitar danau sebagai kawasan perlindungan setempat bertujuan melindungi danau dari berbagai usaha dan/atau kegiatan yang dapat mengganggu kelestarian fungsi danau (Peraturan Pemerintah [PP] No. 47 Tahun 1997).
- Karamba Jaring Apung (KJA)**: Karamba jaring apung (KJA) merupakan suatu sistem budi daya ikan yang dilakukan di badan air tergenang, yaitu membesarkan ikan dalam wadah-wadah yang dilayangkan di air, semua sisi dan dasarnya diselubungi oleh suatu bahan jaring sehingga pertukaran air relatif bebas dan limbah dari aktivitas budi daya bisa lepas ke perairan sekitarnya (Asmawi, 1986; Schmittou, 1991).

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di suatu kota kecil, Maja, yang berada di lereng Gunung Ciremay di wilayah Kabupaten Majalengka Jawa Barat pada tanggal 14 Mei tahun 1962. Pendidikan SD dan SMP penulis dijalani di kota yang sama, dan menyelesaikan pendidikan SLTA di SMA Negeri Kota Majalengka. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat tingginya di Institut Pertanian Bogor, dengan mengambil jurusan Manajemen Sumber daya Perairan (MSP) pada Fakultas Kelautan dan Ilmu Perikanan di Institut Pertanian Bogor (IPB) serta mengambil pendidikan S2 (master) pada Program Ilmu-Ilmu Perairan di perguruan tinggi yang sama. Beberapa pendidikan non-formal (training & course) telah diikuti penulis, yaitu Wetland Course Management (Belanda), Aquatic Resources Management (Jepang) dan Research Business Management (Australia).

Sejak awal kariernya di tahun 1988 dan hingga saat ini, penulis adalah seorang peneliti pada Pusat Penelitian Limnologi-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Penulis telah banyak melakukan penelitian perairan danau di Indonesia yang telah ditulis dalam berbagai jurnal yang terdiri dari 45 buah naskah hasil penelitian dan 20 buah artikel hasil pemikiran. Penulis juga banyak terlibat di dalam penyusunan naskah-naskah akademik kebijakan pengelolaan danau

baik di tingkat provinsi maupun pada tingkat nasional. Karya tulis dalam bentuk buku yang telah disusun penulis adalah: i) Danau Lindu; Keteduhan yang Merindu (LIPI Press; 2007); ii) Konsep Pengelolaan Perikanan Sidat di Perairan Poso Sulawesi Tengah; Timbangan Ilmiah (Pusat Penelitian Limnologi-LIPI).