

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ekosistem Perairan Danau

Ekosistem merupakan suatu sistem ekologi yang terdiri atas komponen-komponen biotik dan abiotik yang saling berintegrasi sehingga membentuk satu kesatuan. Di dalam ekosistem perairan danau terdapat faktor-faktor abiotik dan biotik (produsen, konsumen dan pengurai) yang membentuk suatu hubungan timbal balik dan saling mempengaruhi. Perairan danau merupakan salah satu bentuk ekosistem air tawar yang ada di permukaan bumi. Secara fisik, danau merupakan suatu tempat yang luas yang mempunyai air yang tetap, jernih atau beragam dengan aliran tertentu (Jorgensen and Vollenweiden, 1989). Sementara itu, menurut Ruttner (1977) dan Satari (2001) danau adalah suatu badan air alami yang selalu tergenang sepanjang tahun dan mempunyai mutu air tertentu yang beragam dari satu danau ke danau yang lain serta mempunyai produktivitas biologi yang tinggi.

Ekosistem danau termasuk habitat air tawar yang memiliki perairan tenang yang dicirikan oleh adanya arus yang sangat lambat sekitar 0,1–1 cm/detik atau tidak ada arus sama sekali. Oleh karena itu *residence time* (waktu tinggal) air bisa berlangsung lebih lama. Menurut Wetzel (2001), perairan danau biasanya memiliki stratifikasi vertikal kualitas air yang bergantung pada kedalaman dan musim.

Menurut Odum (1993), pada dasarnya proses terjadinya danau dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu: danau alami dan danau buatan. Danau alami merupakan danau yang terbentuk sebagai akibat dari kegiatan alamiah, misalnya bencana alam, kegiatan vulkanik dan kegiatan tektonik. Sedangkan danau buatan adalah danau yang dibentuk dengan sengaja oleh kegiatan manusia dengan tujuan-tujuan tertentu dengan jalan membuat bendungan pada daerah dataran rendah.

Umumnya perairan danau selalu menerima masukan air dari daerah tangkapan air di sekitar danau, sehingga perairan danau cenderung menerima bahan-bahan terlarut yang terangkut bersamaan dengan air yang masuk. Oleh karena itu konsentrasi zat-zat yang terdapat di danau merupakan resultante dari zat-zat yang berasal dari aliran air yang masuk (Payne, 1986). Kualitas perairan

danau sangat tergantung pada pengelolaan atau pengendalian daerah aliran sungai (DAS) yang berada di atasnya.

Cole (1988) menyatakan bahwa berdasarkan kemampuan penetrasi cahaya matahari menembus ke dalam danau, wilayah danau dapat dibagi menjadi tiga mintakat (zone) yaitu: zone litoral, zone limnetik, dan zone profundal. Zone litoral merupakan daerah pinggiran danau yang dangkal dengan penetrasi cahaya sampai ke dasar, sedangkan zone limnetik adalah daerah air terbuka dimana penetrasi cahaya bisa mencapai daerah yang cukup dalam, sehingga efektif untuk proses fotosintesis. Bagian air di zone ini terdiri dari produsen planctonik, khususnya diatome dan spesies alga hijau-biru. Daerah ini juga merupakan daerah produktif dan kaya akan plankton. Selain itu, daerah ini juga merupakan daerah untuk memijah bagi banyak organisme air seperti insekta. Zone profundal merupakan bagian dasar yang dalam yang tidak tercapai oleh penetrasi cahaya efektif.

Menurut Goldman dan Horne (1989), berdasarkan kandungan hara (tingkat kesuburan) danau diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu: danau eutrofik, danau oligotrofik dan danau mesotrofik. Danau eutrofik (kadar hara tinggi) merupakan danau yang memiliki perairan yang dangkal, tumbuhan litoral melimpah, kepadatan plankton lebih tinggi, sering terjadi *blooming* alga dengan tingkat penetrasi cahaya matahari umumnya rendah. Sementara itu, danau oligotrofik adalah danau dengan kadar hara rendah, biasanya memiliki perairan yang dalam, dengan bagian hipolimnion lebih besar dibandingkan dengan bagian epilimnion. Semakin dalam danau tersebut semakin tidak subur, tumbuhan litoral jarang dan kepadatan plankton rendah, tetapi jumlah spesiesnya tinggi. Danau mesotrofik merupakan danau dengan kadar nutrisi sedang, juga merupakan peralihan antara kedua sifat danau eutrofik dan danau oligotrofik. Jorgensen (1990) menambahkan bahwa tingkat *trofik* (kesuburan) suatu danau juga dapat dinyatakan berdasarkan kandungan total nitrogen (TN), total fosfat (TP), klorofil-a dan biomassa fitoplankton, seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tingkat kesuburan perairan danau (Jorgensen, 1990)

Tipe trofik	Biomassa fitoplankton (mg C m ⁻³)	Klorofil-a (mg/l)	TN (µg/l)	TP (µg/l)
Oligotrofik	20 – 100	0,3 – 3	< 250	< 5
Mesptrofik	100 – 300	2 – 15	250 – 600	5 – 10
Eutrofik	> 300	10 – 500	500 – 1100	10 – 30
Hipertrofik	-	-	500 - 15000	30 – 5000

2.2. Pencemaran Perairan Danau

Peraturan Pemerintah nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air menyatakan bahwa, pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas perairan turun sampai pada tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Peraturan ini menyatakan bahwa pencemaran harus ditanggulangi dan penanggulangannya adalah merupakan kewajiban semua pihak.

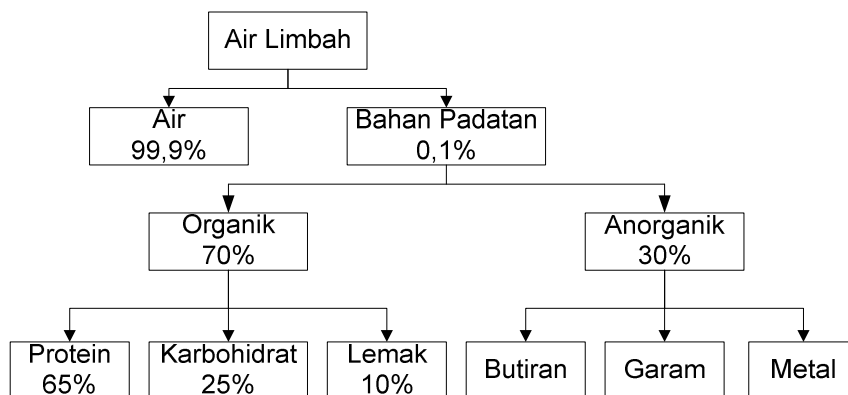
Dari rumusan tersebut, secara singkat pencemaran air dapat dikatakan sebagai turunnya kualitas air karena masuknya komponen-komponen pencemar dari kegiatan manusia atau proses alam, sehingga air tersebut tidak memenuhi syarat atau bahkan mengganggu pemanfaatannya. Terjadinya pencemaran perairan danau dapat ditunjukkan oleh dua hal, yaitu (1) adanya pengkayaan unsur hara yang tinggi, sehingga terbentuk komunitas biota dengan produksi yang berlebihan, (2) air diracuni oleh zat kimia toksik yang menyebabkan lenyapnya organisme hidup, bahkan mencegah semua kehidupan di perairan (Southwick, 1976). Senada dengan hal tersebut Saeni (1989) menyatakan bahwa pencemaran yang terjadi di perairan dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu (1) pencemaran kimiawi berupa bahan-bahan organik, mineral, zat-zat beracun dan radioaktif, (2) pencemaran fisik berupa lumpur dan uap panas, dan (3) pencemaran biologis berupa berkembangbiaknya ganggang, tumbuh-tumbuhan pengganggu air, kontaminasi organisme mikro yang berbahaya atau dapat berupa gabungan ketiga pencemaran tersebut.

Sumber pencemaran yang masuk ke badan perairan, dibedakan atas pencemaran yang disebabkan oleh alam dan pencemaran karena kegiatan manusia. Menurut Davis dan Cornwell (1991), sumber bahan pencemar yang

masuk ke perairan dapat berasal dari buangan yang diklasifikasikan sebagai: (1) *point source discharges* (sumber titik) dan (2) *non point source* (sumber menyebar). Sumber titik atau sumber pencemaran yang dapat diketahui secara pasti dapat merupakan suatu lokasi tertentu seperti dari air buangan industri maupun domestik serta saluran drainase. Pencemar bersifat lokal dan efek yang diakibatkan dapat ditentukan berdasarkan karakteristik spasial kualitas air. Sedangkan sumber pencemar yang berasal dari sumber menyebar berasal dari sumber yang tidak diketahui secara pasti. Pencemar masuk ke perairan melalui *run off* (limpasan) dari permukaan tanah wilayah pertanian yang mengandung pestisida dan pupuk, atau limpasan dari daerah permukiman dan perkotaan.

Dewasa ini permasalahan ekologis yang menjadi perhatian utama adalah menurunnya kualitas perairan oleh masuknya bahan pencemar yang berasal dari berbagai kegiatan manusia seperti, sampah permukiman, sedimentasi dan siltasi, industri, pemupukan dan pestisida. Bahan pencemar yang berasal dari permukiman pada umumnya dalam bentuk limbah (organik dan anorganik) dan sampah.

Bahan pencemar yang terdapat dalam air limbah dapat berupa bahan terapung, padatan tersuspensi atau padatan terlarut. Selain itu, air limbah juga dapat mengandung mikroorganisme seperti virus, bakteri dan protozoa. Komposisi air limbah domestik sangat bervariasi tergantung pada tempat, sumber dan waktu. Namun secara garis besar zat-zat yang terdapat di dalam air limbah dapat dikelompokkan seperti Gambar 2 (Tebbut, 1998 *dalam* Mara, 2004).

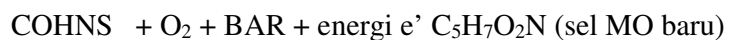
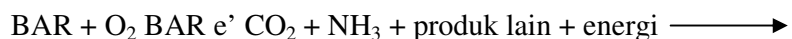


Gambar 2. Komposisi air limbah domestik (Mara, 2004).

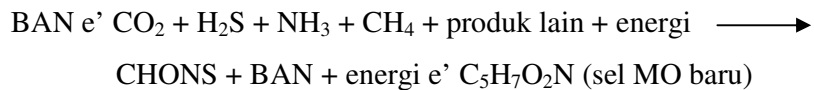
Limbah organik yang mencemari perairan danau, berdasarkan asalnya dapat dibedakan menjadi limbah organik yang berasal dari luar danau dan berasal dari kegiatan di badan air danau. Limbah yang berasal dari luar danau berupa limbah industri, domestik, dan pertanian, sedangkan yang berasal dari kegiatan di badan perairan danau adalah sisa pellet dari kegiatan budidaya ikan dalam KJA. Ditambahkan oleh Haryadi (2003), limbah organik yang masuk ke perairan umumnya berasal dari sisa makanan, eksresi, deterjen, bahan pembersih, minyak dan lemak, bahan-bahan tersuspensi, sisa insektisida, pestisida dan bahan-bahan sintetik lainnya.

Limbah organik merupakan sisa atau buangan dari berbagai aktivitas manusia seperti rumah tangga, industri, permukiman, peternakan, pertanian dan perikanan yang berupa bahan organik, yang biasanya tersusun oleh karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, fosfor, sulfur dan mineral lainnya (Porprasert, 1989). Limbah organik yang masuk ke dalam perairan dalam bentuk padatan akan langsung mengendap menuju dasar perairan, sedang bentuk lainnya berada di badan air, baik di bagian yang aerob maupun anaerob. Limbah organik, jika tidak dimanfaatkan oleh fauna perairan lain, seperti ikan, kepiting, bentos dan lainnya, maka akan segera dimanfaatkan oleh mikroba, baik mikroba aerobik maupun anaerobik ataupun mikroba fakultatif (Garno, 2004).

Limbah organik yang ada di badan air aerobik akan dimanfaatkan dan diurai (dekomposisi) oleh mikroba aerobik (BAR), dengan proses seperti pada reaksi berikut.



Reaksi tersebut mengisyaratkan bahwa makin banyak limbah organik yang masuk dan tinggal pada lapisan aerobik akan makin besar pula kebutuhan oksigen bagi mikroba yang mendekomposisinya. Jika keperluan oksigen bagi mikroba yang ada melebihi konsentrasi oksigen terlarut, maka oksigen bisa menjadi nol dan mikroba aerobik pun musnah digantikan oleh mikroba anaerob dan fakultatif yang tidak memerlukan oksigen. Sementara itu limbah organik yang masuk ke badan air yang anaerob akan dimanfaatkan dan diurai (dekomposisi) oleh mikroba anaerobik atau fakultatif (BAN) dengan proses seperti reaksi berikut.



Proses reaksi tersebut mengungkapkan bahwa aktivitas mikroba yang hidup di bagian badan air yang anaerob, selain menghasilkan sel-sel mikroba baru juga menghasilkan senyawa-senyawa CO_2 , NH_3 , H_2S dan CH_4 serta senyawa lain seperti amin dan komponen fosfor. H_2S , amin dan komponen fosfor adalah senyawa yang mengeluarkan bau menyengat yang tidak sedap dan anyir. Selain itu telah disinyalir bahwa NH_3 dan H_2S hasil dekomposisi anaerob pada tingkat konsentrasi tertentu adalah beracun dan dapat membahayakan organisme lain, termasuk manusia.

Pencemaran perairan danau juga dapat disebabkan oleh buangan bahan beracun baik yang dapat diuraikan secara kimiawi oleh bakteri maupun yang sukar diuraikan serta hara anorganik yang menyebabkan pertumbuhan alga secara berlebihan. Bahan-bahan beracun yang berasal dari limbah buangan industri mengandung senyawa-senyawa yang bersifat toksik seperti logam berat; Hg, Pb, dan Cd (Shivastava *et al.*, 2003). Masuknya bahan pencemar tersebut ke badan perairan dapat menurunkan kualitas air serta mengubah kondisi ekologi perairan. Sutamihardja (1992) menyatakan bahwa bahan pencemaran yang menurunkan kualitas air dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan (*health hazard*), sanitasi (*sanitary hazard*) dan kerugian-kerugian secara ekonomi dan sosial.

Kegiatan dalam bidang pertanian, secara langsung maupun tidak langsung dapat menyebabkan kualitas perairan danau menjadi menurun. Hal ini disebabkan karena residu dari penggunaan pupuk dan pestisida akan mengalir ke badan air danau. Residu pestisida yang masuk ke perairan, proporsi utama adalah terserap pada partikel tersuspensi dan partikel yang diam atau terpisah ke dalam substrat organik. Residu tersebut umumnya mempunyai sifat afinitas yang kuat terhadap komponen lipid dan bahan organik yang hidup. Bahan aktif pestisida sukar dihilangkan setelah masuk ke badan perairan, karena memiliki tingkat kestabilan yang cukup tinggi. Bahan aktif tersebut tidak mudah larut dalam air, tetapi larut dalam lemak serta menempel pada partikel-partikel halus. Akibatnya residu pestisida akan terkumpul dan terakumulasi dalam perairan, sehingga

menyebabkan perairan menjadi tercemar dan merusak ekosistem di dalamnya (Cornel and Miller, 1995).

Residu pupuk yang tidak terserap tanaman, mengandung unsur nitrogen dan fosfor yang cukup tinggi, sehingga dapat merangsang pertumbuhan alga dan tanaman air lainnya. Kelimpahan hara nutrisi ini dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi (penyuburan perairan) (Kemka *et al.*, 2006). Pengaruh negatif dari eutrofikasi di perairan danau adalah terjadinya perubahan keseimbangan kehidupan antara tanaman air dengan hewan air, sehingga beberapa spesies ikan akan musnah dan tanaman air akan dapat menghambat laju arus air (Darmono, 2001). Seperti dilaporkan oleh Garno (2002) bahwa penyuburan yang terjadi di Waduk Cirata oleh hara N dan P, sebagian besar bersumber dari limbah yang berasal dari kegiatan budidaya perikanan yang ada di waduk, limbah domestik dan limbah pertanian seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sumber pencemar N dan P di Waduk Cirata

Sumber pencemar	Jenis pencemar atau hara (ton/tahun)	
	Nitrogen	Fosfor
Domestik ^{*)}	2.111,20	276,64
Pertanian ^{**)}	5,00	0,10
Perikanan (KJA) ^{***)}	6.612	1.041

^{*)}Brahmana dan Ahmad, 1997; ^{**)}Anonim, 1998; dan ^{***)}Garno, 2002

Jenis alga terutama ganggang hijau, sangat subur bila mendapatkan pupuk nitrat. Tumbuhan ini dapat menutupi permukaan perairan, sehingga menghambat sinar matahari yang masuk ke dalam air. Hal ini dapat menyebabkan organisme atau tumbuhan air akan mati. Bakteri pembusuk akan menguraikan organisme yang mati, baik tanaman maupun hewan yang terdapat di dasar air. Proses pembusukan tersebut banyak menggunakan oksigen terlarut dalam air, sehingga terjadi hypoksia atau kadar oksigen akan menurun secara drastis dan pada akhirnya kehidupan biologis di perairan danau juga akan sangat berkurang.

Garno (2002) melaporkan bahwa perkiraan besarnya kandungan N dan P yang dihasilkan dari berbagai sumber pencemar di darat yang masuk ke dalam ekosistem perairan Waduk Saguling disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perkiraan jumlah N dan P yang masuk ke Waduk Saguling dari berbagai sumber pencemar (Garno, 2002)

No.	Sumber Pencemar	Nitrogen (ton/tahun)	Fosfor (ton/tahun)
1	Limbah rumah tangga (permukiman)	9.953	1.303
2	Limbah industri	8	-
3	Pencucian dari lahan pertanian	1.022	219
4	Budidaya ikan dalam KJA	1.359	214
5	Limbah peternakan	1.197	296

Kegiatan budidaya perikanan dengan teknik keramba jaring apung yang berlangsung di badan air, merupakan kegiatan yang langsung berhubungan dengan perairan danau, sehingga berdampak langsung terhadap perairan danau yaitu penurunan kualitas perairan. Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan tersebut pada umumnya berupa limbah organik berupa sisa pakan (pellet). Pakan yang tidak dimanfaatkan dari kegiatan budidaya ikan intensif merupakan suatu hal yang dapat mengganggu lingkungan perairan serta dapat menyebabkan terpacunya eutrofikasi di ekosistem perairan danau.

Begitu juga halnya dengan kegiatan peternakan yang terdapat di sempadan danau, merupakan penghasil limbah organik berupa kotoran hewan dan sisa pakan yang masuk ke badan air danau. Walaupun sebagian besar limbahnya tergolong limbah padat, tetapi saluran drainase dari kegiatan peternakan akan membawa limbah cair organik dengan kandungan zat tersuspensi yang tinggi. Di samping itu, limbah ternak dapat merupakan sumber nitrogen dan fosfor yang dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi pada badan air. Keadaan ini dapat mengakibatkan gangguan keseimbangan ekologis dan bahkan dapat menyebabkan kematian biota perairan serta merusak estetika perairan.

2.3. Eutrofikasi

Kesuburan perairan danau secara alamiah umumnya disebabkan pengkayaan oleh unsur hara yang dibawa oleh aliran sungai dari hasil pencucian lapisan tanah permukaan dan limbah organik dari kegiatan pertanian. Setiana (1996) menyatakan bahwa proses masuknya hara ke badan perairan dapat melalui dua cara yaitu: (1) penapisan air drainase lewat pelepasan hara tanaman terlarut dari tanah; dan (2) lewat erosi permukaan tanah atau gerakan dari partikel tanah

halus masuk ke sistem drainase. Proses terjadinya pengkayaan perairan danau oleh unsur hara berlangsung dalam waktu yang cukup lama, namun proses tersebut dapat dipercepat oleh berbagai aktivitas penduduk di sekitar perairan danau.

Peningkatan jumlah penduduk yang semakin tinggi di sekitar perairan danau, dapat mengganggu keseimbangan lingkungan perairan. Hal ini akan memberikan kontribusi pada laju penambahan zat hara dan limbah organik lainnya yang masuk ke badan air. Jumlah unsur hara yang masuk ke badan perairan biasanya lebih besar dari pemanfaatan unsur hara tersebut oleh biota perairan, sehingga akan terjadi penyuburan yang berlebihan (Ahl, 1980).

Menurut Goldmen and Horne (1983), eutrofikasi perairan danau dapat terjadi secara *cultural eutrophication* (kultural) maupun secara *natural eutrophication* (alami). Eutrofikasi kultural disebabkan karena terjadinya proses peningkatan unsur hara di perairan oleh aktivitas manusia, sedangkan pada eutrofikasi alami terjadi peningkatan unsur hara bukan karena aktivitas manusia melainkan oleh aktivitas alami.

Gejala eutrofikasi di perairan danau biasanya ditunjukkan dengan melimpahnya konsentrasi unsur hara dan perubahan parameter kimia seperti oksigen terlarut (OT), kandungan klorofil-a dan turbiditas serta produktivitas primer. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi biomassa di bagian epilimnion danau dan tingginya laju pengendapan alga ke bagian dalam kolom air, sehingga menjadikan kondisi anaerobik pada daerah hipolimnion (Gather and Imboden, 1985). Hal senada dikemukakan oleh Agustiyani (2004), meningkatnya unsur hara di danau akan meningkatkan biomassa jenis organisme primer tetapi akan menurunkan jenis konsumen. Hal ini mengakibatkan melimpahnya salah satu jenis saja dan mengurangi varietas dan kualitas. Salah satu contohnya adalah melimpahnya alga yang biasa didominasi oleh *blue green algae* (alga biru-hijau) dan berkembangnya gulma air.

Fenomena eutrofikasi juga berdampak terhadap meningkatnya jumlah kematian ikan dan sulitnya pengolahan air untuk air minum. Hal ini disebabkan karena disekresikannya toksin hasil metabolisme alga yang dapat menyebabkan kematian bagi hewan. Kondisi ini pernah terjadi di daerah sub-tropis pada alga jenis *Mycrocystis* sp yang menghasilkan endotoksin dan eksotoksin yang hasil

sekresinya disebut dengan *Mycrosystin*, dapat menyerang syaraf dan hati, sehingga dapat mengakibatkan kematian bagi hewan-hewan ternak (Kemka *et al.*, 2006).

Henderson-Seller and Markland (1987) mengemukakan bahwa ada enam indikator utama yang dapat dipakai untuk mendeteksi terjadinya eutrofikasi di suatu perairan danau yakni : 1) menurunnya konsentrasi oksigen terlarut di zone hipolimnotik, 2) meningkatnya konsentrasi unsur hara, 3) meningkatnya padatan tersuspensi, terutama bahan organik, 4) bergantinya populasi fitoplankton yang dominan dari kelompok diatome menjadi *chlorophyceae*, 5) meningkatnya konsentrasi fosfat, dan 6) menurunnya penetrasi cahaya (meningkatnya kekeruhan).

Fosfor merupakan komponen biokimia sebagai pengubah energi di dalam sel dan terdapat dalam bentuk adenosin fosfat, yang sangat diperlukan dalam kehidupan sel. Kekurangan fosfor akan menghambat metabolisme secara keseluruhan, sehingga menyebabkan penurunan pertumbuhan biomassa. Hal ini senada dengan pernyataan Beveridge (1996) yang menyatakan bahwa unsur fosfor merupakan unsur utama yang diperlukan oleh semua ikan untuk pertumbuhan normal, pembentukan tulang, mengatur regulasi asam-basa dan metabolisme lipid dan karbohidrat. Sementara itu, nitrogen adalah merupakan bagian dari struktur protein dan asam amino yang penting untuk kehidupan.

Menurut Goldman & Horne (1983) dan Sastrawijaya (2000), fosfor dan nitrogen merupakan unsur pembatas dalam proses eutrofikasi. Bila rasio N dan P > 12, maka sebagai faktor pembatas adalah P, sedangkan rasio N dan P < 7 sebagai pembatas adalah N. Rasio N dan P yang berada antara 7 dan 12 menandakan bahwa N dan P bukan sebagai faktor pembatas (*non-limiting factor*). Ryding & Rast (1989) menyatakan bahwa perairan termasuk dalam klasifikasi eutrofik bila kandungan total N di perairan sebesar 0,393–6,100 mg/l dan bila > 6,100 mg/l perairan termasuk dalam klasifikasi hipertrofik.

Dampak negatif lain dari eutrofikasi adalah meningkatnya jumlah alga yang mati dan tenggelam ke dasar perairan. Alga tersebut akan diuraikan oleh bakteri, mereduksi kandungan oksigen di dasar perairan, dapat mencapai ke tingkat yang sangat rendah untuk mendukung kehidupan organisme, sehingga

menyebabkan kematian ikan. OECD (1982), menyatakan bahwa dampak dari eutrofikasi yang paling sensitif bagi masyarakat adalah yang berkaitan dengan fungsi danau sebagai tempat rekreasi dan wisata air. Aspek-aspek seperti menurunnya transparansi, warna, rasa dan bau, serta meningkatnya penyakit kulit sangat mengurangi daya tarik dan nilai estetika dari obyek wisata tersebut.

2.4. Indikator Parameter Pencemaran Perairan

Pengelolaan lingkungan perairan danau diperlukan sebagai suatu petunjuk untuk menilai perairan tersebut apakah masih layak digunakan sesuai dengan peruntukannya atau tidak. Mengingat kebutuhan akan air bukan saja dari segi kuantitas, tetapi juga dalam hal kualitas harus baik. Dalam usaha pengendalian pencemaran perairan danau sangat diperlukan informasi dan masukan mengenai tingkat pencemaran yang terjadi di perairan tersebut.

Indeks mutu lingkungan perairan (IMLP) secara umum dapat digunakan untuk memonitor status kualitas air secara menyeluruh sebagai dasar dalam pengambilan kebijakan pengelolaan perairan di masa yang akan datang. Beberapa karakteristik atau indikator kualitas air yang disarankan untuk dianalisis sehubungan pemanfaatan sumberdaya air untuk berbagai keperluan, antara lain parameter fisika, kimia dan biologi (Manik, 2003; Effendi, 2003),

2.4.1. Parameter Fisika

Suhu

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang, ketinggian dari permukaan laut, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman dari badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi di badan air. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi. Selain itu, peningkatan suhu air juga mengakibatkan penurunan kelarutan gas dalam air seperti O_2 , CO_2 , N_2 , dan CH_4 (Haslam, 1995).

Beberapa sifat termal air seperti panas jenis, nilai kalor penguapan dan nilai peleburan air mengakibatkan minimnya perubahan suhu air, sehingga variasi suhu air lebih kecil bila dibandingkan dengan variasi suhu udara. Danau di daerah tropik mempunyai kisaran suhu yang tinggi yaitu antara 20-30 $^{\circ}C$, dan

menunjukkan sedikit penurunan suhu dengan bertambahnya kedalaman. Oleh karena itu perubahan suhu dapat menghasilkan stratifikasi yang mantap sepanjang tahun, sehingga pada danau yang amat dalam cenderung hanya sebagian yang tercampur (Effendi, 2003; Hadi, 2005).

Adanya penyerapan cahaya oleh air danau akan menyebabkan terjadinya lapisan air yang mempunyai suhu yang berbeda. Bagian lapisan yang lebih hangat biasanya berada pada daerah *eufotik*, sedangkan lapisan yang lebih dingin biasanya berada di bagian *afotik* (bagian bawah). Menurut Goldman & Horne (1989), bila pada danau tersebut tidak mengalami pengadukan oleh angin, maka kolam air danau terbagi menjadi beberapa lapisan, yaitu: (1) *epilimnion*, lapisan yang hangat dengan kerapatan jenis air kurang, (2) *hipolimnion*, merupakan lapisan yang lebih dingin dengan kerapatan air kurang, dan (3) *metalimnion* adalah lapisan yang berada antara lapisan *epilimnion* dan *hipolimnion*.

Pada daerah *metalimnion* terdapat lapisan termoklin yaitu lapisan dimana suhu akan turun sekurang-kurangnya 1 °C dalam setiap 1 meter (Jorgensen & Volleweider, 1989). Suhu merupakan *controlling factor* (faktor pengendali) bagi proses respirasi dan metabolisme biota akuatik yang berlanjut terhadap pertumbuhan dan proses fisiologi serta siklus reproduksinya (Hutabarat dan Evans, 1984). Suhu juga dapat mempengaruhi proses dan keseimbangan reaksi kimia yang terjadi dalam sistem air (Stumm and Morgan, 1981).

Total Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid, TSS*) dan Total Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solid, TDS*)

Total padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1 µm) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke dalam badan air. Masuknya padatan tersuspensi ke dalam perairan dapat menimbulkan kekeruhan air. Hal ini menyebabkan menurunnya laju fotosintesis fitoplankton, sehingga produktivitas primer perairan menurun, yang pada gilirannya menyebabkan terganggunya keseluruhan rantai makanan.

Padatan tersuspensi yang tinggi akan mempengaruhi biota di perairan melalui dua cara. Pertama, menghalangi dan mengurangi penentrasi cahaya ke

dalam badan air, sehingga menghambat proses fotosintesis oleh fitoplankton dan tumbuhan air lainnya. Kondisi ini akan mengurangi pasokan oksigen terlarut dalam badan air. Kedua, secara langsung TDS yang tinggi dapat mengganggu biota perairan seperti ikan karena tersaring oleh insang. Menurut Fardiaz (1992), padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air, sehingga mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis dan kekeruhan air juga semakin meningkat. Ditambahkan oleh Nybakken (1992), peningkatan kandungan padatan tersuspensi dalam air dapat mengakibatkan penurunan kedalaman *eufotik*, sehingga kedalaman perairan produktif menjadi turun.

Penentuan padatan tersuspensi sangat berguna dalam analisis perairan tercemar dan buangan serta dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan air, buangan domestik, maupun menentukan efisiensi unit pengolahan. Padatan tersuspensi mempengaruhi kekeruhan dan kecerahan air. Oleh karena itu pengendapan dan pembusukan bahan-bahan organik dapat mengurangi nilai guna perairan.

Total padatan terlarut merupakan bahan-bahan terlarut dalam air yang tidak tersaring dengan kertas saring *millipore* dengan ukuran pori 0,45 μm . Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa anorganik dan organik yang terlarut dalam air, mineral dan garam-garamnya. Penyebab utama terjadinya TDS adalah bahan anorganik berupa ion-ion yang umum dijumpai di perairan. Sebagai contoh air buangan sering mengandung molekul sabun, deterjen dan surfaktan yang larut air, misalnya pada air buangan rumah tangga dan industri pencucian.

Kekeruhan dan Kecerahan

Mahida (1993) mendefinisikan kekeruhan sebagai intensitas kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekeruhan perairan umumnya disebabkan oleh adanya partikel-partikel suspensi seperti tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik terlarut, bakteri, plankton dan organisme lainnya. Kekeruhan perairan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat dalam air (Davis dan Cornwell, 1991).

Kekeruhan yang terjadi pada perairan tergenang seperti danau lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi berupa koloid dan partikel-partikel

halus. Kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi seperti pernafasan dan daya lihat organisme akuatik serta dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Menurut Koesoebiono (1979), pengaruh kekeruhan yang utama adalah penurunan penetrasi cahaya secara mencolok, sehingga aktivitas fotosintesis fitoplankton dan alga menurun, akibatnya produktivitas perairan menjadi turun. Di samping itu Effendi (2003), menyatakan bahwa tingginya nilai kekeruhan juga dapat menyulitkan usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air.

Kecerahan merupakan ukuran transparansi perairan yang ditentukan secara visual dengan menggunakan *secchi disk* (Effendi, 2003). Kecerahan perairan sangat dipengaruhi oleh keberadaan padatan tersuspensi, zat-zat terlarut, partikel-partikel dan warna air. Pengaruh kandungan lumpur yang dibawa oleh aliran sungai dapat mengakibatkan tingkat kecerahan air danau menjadi rendah, sehingga dapat menurunkan nilai produktivitas perairan (Nybakken, 1992).

Warna Perairan

Pada umumnya warna perairan dikelompokkan menjadi warna sesungguhnya dan warna tampak. Menurut Effendi (2003), warna sesungguhnya dari perairan adalah warna yang hanya disebabkan oleh bahan-bahan terlarut, sedangkan warna tampak adalah warna yang tidak hanya disebabkan oleh bahan terlarut, tetapi juga oleh bahan tersuspensi. Warna perairan timbul disebabkan oleh bahan organik dan anorganik, keberadaan plankton, humus, dan ion-ion logam seperti besi dan mangan. Oksidasi besi dan mangan mengakibatkan perairan berwarna kemerahan dan kecoklatan atau kehitaman, sedangkan oksidasi kalsium karbonat menimbulkan warna kehijauan. Bahan-bahan organik seperti tanin, lignin dan asam humus dapat menimbulkan warna kecoklatan di perairan. Perairan yang berwarna dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air, sehingga proses fotosintesis menjadi terganggu. Untuk kepentingan estetika dan pariwisata, warna air sebaiknya tidak melebihi 15 unit PtCo, sedangkan untuk kepentingan air minum warna air yang dianjurkan adalah 5–50 unit PtCo (Santika, 1997; Effendi, 2003).

2.4.2. Parameter Kimia

Derajat Keasaman (*pH*)

Derajat keasaman merupakan gambaran jumlah atau aktivitas ion hidrogen dalam perairan. Secara umum nilai pH menggambarkan seberapa besar tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Perairan dengan nilai $pH = 7$ adalah netral, $pH < 7$ dikatakan kondisi perairan bersifat asam, sedangkan $pH > 7$ dikatakan kondisi perairan bersifat basa (Effendi, 2003). Adanya karbonat, bikarbonat dan hidroksida akan menaikkan kebasaan air, sementara adanya asam-asam mineral bebas dan asam karbonat menaikkan keasaman suatu perairan. Sejalan dengan pernyataan tersebut Mahida (1993) menyatakan bahwa limbah buangan industri dan rumah tangga dapat mempengaruhi nilai pH perairan.

Nilai pH dapat mempengaruhi spesiasi senyawa kimia dan toksisitas dari unsur-unsur renik yang terdapat di perairan, sebagai contoh H_2S yang bersifat toksik banyak ditemui di perairan tercemar dan perairan dengan nilai pH rendah. Selain itu, pH juga mempengaruhi nilai BOD_5 , fosfat, nitrogen dan nutrien lainnya (Dojildo and Best, 1992).

Karbendioksida (CO_2) Bebas

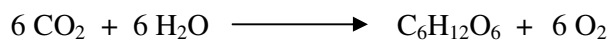
Karbendioksida bebas merupakan istilah untuk menunjukkan CO_2 yang terlarut di dalam air. CO_2 yang terdapat dalam perairan alami merupakan hasil proses difusi dari atmosfer, air hujan, dekomposisi bahan organik dan hasil respirasi organisme akuatik. Tingginya kandungan CO_2 pada perairan dapat mengakibatkan terganggunya kehidupan biota perairan. Konsentrasi CO_2 bebas 12 mg/l dapat menyebabkan tekanan pada ikan, karena akan menghambat pernafasan dan pertukaran gas. Kandungan CO_2 dalam air yang aman tidak boleh melebihi 25 mg/l, sedangkan konsentrasi CO_2 lebih dari 100 mg/l akan menyebabkan semua organisme akuatik mengalami kematian (Wardoyo, 1979).

Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen, DO*)

Oksigen terlarut adalah gas oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut dalam perairan merupakan faktor penting sebagai pengatur metabolisme tubuh organisme untuk tumbuh dan berkembang biak. Sumber oksigen terlarut dalam air berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer, arus atau aliran air

melalui air hujan serta aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan fitoplankton (Novonty and Olem, 1994). Difusi oksigen atmosfer ke air bisa terjadi secara langsung pada kondisi air *stagnant* (diam) atau terjadi karena agitasi atau pergolakan massa air akibat adanya gelombang atau angin. Difusi oksigen dari atmosfer ke perairan pada hakekatnya berlangsung relatif lambat, meskipun terjadi pergolakan massa air atau gelombang.

Sebagian besar oksigen pada perairan danau dan waduk merupakan hasil sampingan aktivitas fotosintesis. Pada proses fotosintesis, karbondioksida direduksi menjadi karbohidrat dan air mengalami dehidrogenasi menjadi oksigen.



Di perairan danau, oksigen lebih banyak dihasilkan oleh fotosintesis alga yang banyak terdapat pada zone epilimnion, sedangkan pada perairan tergenang yang dangkal dan banyak ditumbuhi tanaman air pada zone litoral, keberadaan oksigen lebih banyak dihasilkan oleh aktivitas fotosintesis tumbuhan air.

Keberadaan oksigen terlarut di perairan sangat dipengaruhi oleh suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Kadar oksigen berkurang dengan semakin meningkatnya suhu, ketinggian, dan berkurangnya tekanan atmosfer (Jeffries and Mills, 1996). Penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan karena adanya zat pencemar yang dapat mengkonsumsi oksigen. Zat pencemar tersebut terutama terdiri dari bahan-bahan organik dan anorganik yang berasal dari berbagai sumber, seperti kotoran (hewan dan manusia), sampah organik, bahan-bahan buangan dari industri dan rumah tangga. Menurut Connel and Miller (1995), sebagian besar dari zat pencemar yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang adalah limbah organik. Menurut Lee *et al.* (1978), kandungan oksigen terlarut pada suatu perairan dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan, seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Status kualitas air berdasarkan kandungan DO (Lee *et al.*, 1978)

No	Kadar oksigen terlarut (mg/l)	Status kualitas air
1	> 6,5	Tidak tercemar sampai tercemar sangat ringan
2	4,5 – 6,4	Tercemar ringan
3	2,0 – 4,4	Tercemar sedang
4	< 2,0	Tercemar berat

Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand*, BOD₅) dan Kebutuhan Oksigen Kimia (*Chemical Oxygen Demand*, COD)

BOD₅ merupakan salah satu indikator pencemaran organik pada suatu perairan. Perairan dengan nilai BOD₅ tinggi mengindikasikan bahwa air tersebut tercemar oleh bahan organik. Bahan organik akan distabilkan secara biologik dengan melibatkan mikroba melalui sistem oksidasi aerobik dan anaerobik. Oksidasi aerobik dapat menyebabkan penurunan kandungan oksigen terlarut di perairan sampai pada tingkat terendah, sehingga kondisi perairan menjadi anaerob yang dapat mengakibatkan kematian organisme akuatik. Lee *et al.* (1978) menyatakan bahwa tingkat pencemaran suatu perairan dapat dinilai berdasarkan nilai BOD₅-nya, seperti disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Status kualitas air berdasarkan nilai BOD₅ (Lee *et al.*, 1978)

No	Nilai BOD ₅ (ppm)	Status kualitas air
1	≤ 2,9	Tidak tercemar
2	3,0 – 5,0	Tercemar ringan
3	5,1 – 14,9	Tercemar sedang
4	≥ 15	Tercemar berat

Selain BOD₅, kadar bahan organik juga dapat diketahui melalui nilai COD. Effendi (2003) menggambarkan COD sebagai jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologi maupun yang sukar didegradasi menjadi CO₂ dan H₂O. Berdasarkan kemampuan oksidasi, penentuan nilai COD dianggap paling baik dalam menggambarkan keberadaan bahan organik baik yang dapat didekomposisi secara biologis maupun yang tidak.

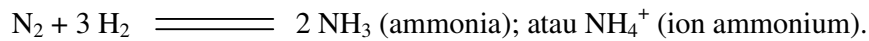
Senyawa-senyawa Nitrogen

Nitrogen di perairan terdapat dalam bentuk gas N₂, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₃ dan NH₄⁺ serta sejumlah N yang berikatan dalam organik kompleks (Haryadi, 2003). Sumber nitrogen terbesar berasal dari udara, sekitar 80% dalam bentuk nitrogen bebas yang masuk melalui sistem fiksasi biologis dalam kondisi aerobik.

Menurut Chester (1990), keberadaan nitrogen di perairan dapat berupa nitrogen anorganik dan organik. Nitrogen anorganik terdiri atas ion nitrit (NO₂⁻), ion nitrat (NO₃⁻), ammonia (NH₃), ion ammonium (NH₄⁺) dan molekul N₂ yang larut dalam air, sedangkan nitrogen organik berupa protein, asam amino dan urea

akan mengendap dalam air. Effendi (2003) menyatakan bahwa bentuk-bentuk nitrogen tersebut mengalami transformasi (ada yang melibatkan mikrobiologi dan ada yang tidak) sebagai bagian dari siklus nitrogen. Transformasi nitrogen secara mikrobiologi mencakup hal-hal sebagai berikut:

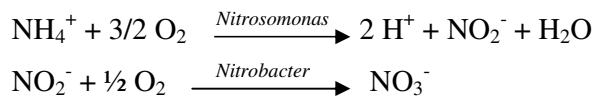
1. Asimilasi nitrogen anorganik (nitrat dan ammonium) oleh tumbuhan dan mikroorganisme (bakteri autorof) untuk membentuk nitrogen organik misalnya asam amino dan protein.
2. Fiksasi gas nitrogen menjadi ammonia dan nitrogen organik oleh mikroorganisme. Fiksasi gas nitrogen secara langsung dapat dilakukan oleh beberapa jenis alga Cyanophyta (alga biru) dan bakteri.



Ion ammonium yang tidak berbahaya adalah bentuk nitrogen hasil hidrolisis ammonia yang berlangsung dalam kesetimbangan seperti reaksi berikut: $\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

Kondisi pada pH tinggi (suasana basa) akan menyebabkan ion ammonium menjadi ammonium hidroksida yang tidak berdisosiasi dan bersifat racun (Goldman and Horne, 1989).

3. Nitrifikasi yaitu oksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrat dapat dilakukan oleh bakteri aerob. Nitrifikasi berjalan secara optimum pada pH 8 dan berkurang secara nyata pada pH < 7.



Hasil oksidasi ini sangat reaktif dan mudah sekali larut, sehingga dapat langsung digunakan dalam proses biologis (Hendersen-Seller, 1987).

4. Amonifikasi nitrogen organik untuk menghasilkan ammonia selama proses dekomposisi bahan organik. Proses ini banyak dilakukan oleh mikroba dan jamur yang membutuhkan oksigen untuk mengubah senyawa organik menjadi karbondioksida (Hendersen-Seller, 1987). Selain itu, autolisis atau pecahnya sel dan eksresi ammonia oleh zooplankton dan ikan juga berperan sebagai pemasok ammonia.
5. Denitrifikasi yaitu reduksi nitrat menjadi nitrit (NO_2^-), dinitrogen oksida (N_2O) dan molekul nitrogen (N_2). Proses reduksi nitrat berjalan optimal

pada kondisi anoksik (tak ada oksigen). Dinitrogen oksida (N_2O) adalah produk utama dari denitrifikasi pada perairan dengan kadar oksigen sangat rendah, sedangkan molekul nitrogen (N_2) adalah produk utama dari proses denitrifikasi pada kondisi anaerob. Proses denitrifikasi akan berkurang atau lambat pada kondisi pH dan suhu rendah, tetapi akan berjalan optimum pada suhu rata-rata danau pada umumnya. Kondisi anaerob di sedimen membuat proses denitrifikasi lebih besar, yaitu dengan laju rata-rata $1 \text{ mg l}^{-1} \text{ hari}^{-1}$ (Jorgensen, 1980).

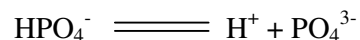
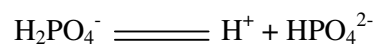
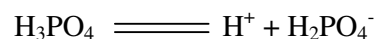
Kadar nitrogen yang tinggi dalam perairan dapat merangsang pertumbuhan algae secara tak terkendali (*blooming*). Konsentrasi nitrogen organik di perairan berkisar 0,1 sampai 5 mg/l, sedangkan di perairan tercemar berat kadar nitrogen bisa mencapai 100 mg/l (Dojlido and Best, 1992). Konsentrasi nitrit yang tinggi dapat menyebabkan perairan menjadi tercemar. Schmit (1978) dalam Wardoyo (1989) menyatakan bahwa pencemaran perairan dapat dinilai berdasarkan kandungan nitritnya (Tabel 6).

Tabel 6. Status kualitas air berdasarkan kandungan nitrit (Schmit, 1978 dalam Wardoyo, 1989)

No	Kadar nitrit (mg/l)	Status kualitas air
1	< 0,003	Tidak tercemar sampai tercemar sangat ringan
2	0,003 – 0,014	Tercemar sedang
3	0,014 – 0,10	Tercemar berat

Ortofosfat

Keberadaan fosfor di perairan adalah sangat penting terutama berfungsi dalam pembentukan protein dan metabolisme bagi organisme. Fosfor juga berperan dalam transfer energi di dalam sel misalnya *adenosine triphosphate* (ATP) dan *adenosine diphosphate* (ADP). Ortofosfat yang merupakan produk ionisasi dari asam ortofosfat adalah bentuk yang paling sederhana di perairan (Boyd, 1982). Reaksi ionisasi ortofosfat ditunjukkan dalam persamaan berikut:



Fosfor dalam perairan tawar ataupun air limbah pada umumnya dalam bentuk fosfat, yaitu ortofosfat, fosfat terkondensasi seperti pirofosfat ($P_2O_7^{4-}$), metafosfat ($P_3O_9^{3-}$) dan polifosfat ($P_4O_{13}^{6-}$ dan $P_3O_{10}^{5-}$) serta fosfat yang terikat secara organik (adenosin monofosfat). Senyawaan ini berada sebagai larutan, partikel atau detritus atau berada di dalam tubuh organisme akuatik (Faust & Osman, 1981; APHA AWWA, 1995).

Ortofosfat merupakan bentuk fosfat yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan akuatik, sedangkan polifosfat harus mengalami hidrolisis membentuk ortofosfat terlebih dahulu sebelum dapat dimanfaatkan sebagai sumber fosfor. Menurut Perkins (1974), kandungan fosfat yang terdapat di perairan umumnya tidak lebih dari 0,1 mg/l, kecuali pada perairan yang menerima limbah dari rumah tangga dan industri tertentu, serta dari daerah pertanian yang mendapat pemupukan fosfat. Oleh karena itu, perairan yang mengandung kadar fosfat yang cukup tinggi melebihi kebutuhan normal organisme akuatik akan menyebabkan terjadinya eutrofikasi.

Pestisida

Dampak negatif dari penggunaan pestisida dalam bidang pertanian adalah berupa timbulnya pencemaran terhadap lingkungan, baik lingkungan perairan, tanah dan udara maupun makhluk hidup yang bukan sasaran. Pestisida masuk ke badan air melalui banyak jalur, misalnya limpasan dari daerah pertanian, aliran dari persawahan, buangan limbah domestik, limbah perkotaan dan industri. Dalam badan air, proporsi utama pestisida adalah terserap pada partikel tersuspensi dan partikel yang diam atau terpisah ke dalam substrat organik. Pestisida memperlihatkan afinitas yang kuat untuk komponen lipid dan bahan organik. Jumlah pestisida yang tercakup tergantung pada karakteristik kimiawi dan kelarutan pestisida serta karakteristik sedimen (Connell dan Miller, 1995).

Pestisida dalam air dan tanah mengalami degradasi baik secara fisik maupun biologis. Jenis-jenis pestisida persisten praktis tidak mengalami degradasi dalam air dan tanah, tetapi akan terakumulasi. Di dalam badan air pestisida dapat mengakibatkan pemekatan biologis terutama pestisida yang persisten. Edward (1975) dan Brown (1978) menyatakan bahwa pada saat pestisida memasuki suatu

perairan, pestisida tersebut akan segera diserap oleh plankton, hewan-hewan vertebrata akuatik, tanaman akuatik, ikan dan sebagian mengendap di sedimen.

Kadar pestisida yang tinggi dapat menimbulkan kematian organisme akuatik secara langsung (keracunan akut) yaitu kontak langsung atau melalui jasad lainnya seperti plankton, perifiton dan bentos, sedangkan kadar rendah dalam badan air kemungkinan besar menyebabkan kematian organisme dalam waktu yang lama yaitu akibat akumulasi pestisida dalam organ tubuhnya (Soemarwoto *et al.*, 1979). Pada umumnya pestisida memperlihatkan sifat lebih toksik terhadap zooplankton dan bentos dengan tingkat toksisitasnya bervariasi sangat luas, tergantung jenis pestisida dan tingkat stadia komunitas yang bersangkutan.

2.4.3. Parameter Mikrobiologi

Lingkungan perairan mudah tercemar oleh mikroorganisme patogen (berbahaya) yang masuk dari berbagai sumber seperti permukiman, pertanian dan peternakan. Bakteri yang umum digunakan sebagai indikator tercemarnya suatu badan air adalah bakteri yang tergolong *Escherichia coli*, yang merupakan salah satu bakteri yang tergolong koliform dan hidup normal di dalam kotoran manusia dan hewan (Effendi, 2003). Keberadaan bakteri ini dapat digunakan sebagai indikator dalam menilai tingkat higienitas suatu perairan.

Pencemaran bakteri tinja (feses) di perairan sangat tidak dikehendaki, baik ditinjau dari segi estetika, kebersihan, sanitasi maupun kemungkinan terjadinya infeksi berbahaya. Mikroba patogen asal tinja yang sering menyebabkan penyakit disentri yang ditularkan melalui air mencakup *salmonella*, *shigella* dan *coliform* (Lay, 1994).

Bakteri *coliform* total merupakan semua jenis bakteri aerobik, anaerobik fakultatif, dan *rod-shape* (bakteri batang) yang dapat memfermentasi laktosa dan menghasilkan gas dalam waktu 48 jam pada suhu 35 °C. Bakteri *coliform* total terdiri dari *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, dan *Enterobacter*. *Fecal coliform* adalah anggota dari *coliform* yang mampu memfermentasi laktosa pada suhu 44,5 °C dan merupakan bagian yang paling dominan (97%) pada tinja manusia dan hewan (Effendi, 2003). Alaerts dan Santika (1994) menyatakan bahwa *Fecal coliform* merupakan bakteri petunjuk adanya pencemaran tinja yang

paling efisien, karena *Fecal coliform* hanya dan selalu terdapat dalam tinja manusia.

2.5. Dampak Pemanfaatan Lahan terhadap Kualitas Perairan

Keberlangsungan fungsi suatu danau sangat tergantung pada kondisi atau keadaan lahan di sekitar daerah tangkapan air (DTA). Berbagai penggunaan lahan di DTA, seperti untuk pertanian, perkebunan, persawahan dan permukiman. Semua aktivitas dari kegiatan tersebut dapat menghasilkan berbagai bahan pencemar atau limbah yang akan mengalir ke perairan danau. Hal ini dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan perairan danau.

Peningkatan jumlah penduduk di sekitar danau secara langsung akan meningkatkan kebutuhan terhadap lahan, baik untuk permukiman, pertanian, sarana dan prasarana lainnya dalam menunjang kehidupan. Hal ini secara langsung maupun tidak langsung akan memberikan tekanan terhadap perairan danau. Demikian juga penggunaan pupuk dan pestisida dalam pengolahan hasil pertanian akan berdampak terhadap kualitas perairan danau. Residu yang berasal dari pelindian pupuk, pestisida dan limbah cair dari agroindustri akan terbawa oleh aliran air ke daerah hilir yang akan terakumulasi di perairan danau, sehingga dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas perairan danau.

Limbah yang masuk ke perairan danau secara terus-menerus, terutama limbah organik dapat menyebabkan terjadinya pengkayaan terhadap hara yang ada di badan air, sehingga dapat menghasilkan suksesi perairan yang disebut eutrofikasi. Keadaan seperti ini dapat menurunkan kualitas perairan danau, sehingga dapat membahayakan bagi kehidupan organisme perairan danau. Apabila danau selalu dijejali oleh buangan-buangan dari hulu yang mengandung bahan pencemar, akan berdampak negatif terhadap perairan danau seperti meningkatnya nilai BOD₅, COD, nitrogen, fosfat, senyawa-senyawa beracun, dan TSS (Manik, 2003). Hal ini akan menyebabkan kualitas perairan danau menjadi menurun, sehingga perairan danau tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

2.6. Dampak Sedimentasi terhadap Kualitas Perairan

Kegiatan pembukaan lahan di bagian hulu dan DTA untuk pertanian, pertambangan dan pengembangan permukiman merupakan sumber sedimen dan

pencemaran perairan danau. Masuknya padatan tersuspensi ke dalam perairan danau dapat meningkatkan kekeruhan air. Hal ini menyebabkan menurunnya laju fotosintesis fitoplankton, sehingga produktivitas primer perairan menjadi turun, yang pada gilirannya menyebabkan terganggunya keseluruhan rantai makan (Haryani, 2001).

Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi akan terbawa oleh aliran dan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatannya melambat atau terhenti. Proses ini dikenal dengan sedimentasi atau pengendapan. Asdak (2002) menyatakan bahwa sedimen hasil erosi terjadi sebagai akibat proses pengolahan tanah yang tidak memenuhi kaidah-kaidah konservasi pada daerah tangkapan air di bagian hulu. Kandungan sedimen pada hampir semua sungai meningkat terus karena erosi dari tanah pertanian, kehutanan, konstruksi dan pertambangan. Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang dapat diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hal ini biasanya diperoleh dari pengukuran padatan tersuspensi di dalam perairan danau.

Berdasarkan pada jenis dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi bahan, sedimen dapat dibagi atas beberapa klasifikasi yaitu *gravels* (kerikil), *medium sand* (pasir), *silt* (lumpur), *clay* (liat) dan *dissolved material* (bahan terlarut) (Asdak, 2002; Al-Masri *et al.*, 2004). Tabel 7 memperlihatkan klasifikasi sedimen menurut Asdak (2002).

Tabel 7. Jenis dan ukuran sedimen yang masuk ke perairan danau (Asdak, 2002)

Jenis Sedimen	Ukuran Partikel (mm)
Liat	< 0,0039
Debu	0,0039 – 0,0625
Pasir	0,0625 – 2,0
Pasir besar	2,0 – 64,0

Ukuran partikel memiliki hubungan dengan kandungan bahan organik sedimen. Sedimen dengan ukuran partikel halus memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen dengan ukuran partikel yang lebih kasar. Hal ini berhubungan dengan kondisi lingkungan yang tenang,

sehingga memungkinkan pengendapan sedimen lumpur yang diikuti oleh akumulasi bahan organik ke dasar perairan (Wood, 1997).

Pada sedimen kasar, kandungan bahan organik biasanya rendah karena partikel yang halus tidak mengendap. Selain itu, tingginya kadar bahan organik pada sedimen dengan ukuran butir lebih halus disebabkan oleh adanya gaya kohesi (tarik menarik) antara partikel sedimen dengan partikel mineral, pengikatan oleh partikel organik dan pengikatan oleh sekresi lendir organisme (Wood, 1997).

2.7. Pengendalian Pencemaran Perairan Danau

Pencemaran perairan terbuka seperti danau oleh limbah domestik maupun limbah rumah tangga merupakan masalah yang serius yang dapat mengancam keberadaan sumberdaya perairan dan kerusakan lingkungan. Oleh sebab itu diperlukan upaya untuk mengendalikan, sehingga dapat meminimalkan dampak tersebut. Pengendalian pencemaran perairan diartikan sebagai upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan peruntukannya.

Brahmana *et al.* (2002) menyatakan upaya-upaya dalam pengendalian pencemaran dalam hal mengurangi beban pencemar yang masuk ke perairan sungai dan danau dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, yang antara lain : (1) pendekatan teknologi yaitu dengan membangun IPAL untuk pengendalian limbah penduduk dan limbah industri, (2) pendekatan hukum, yaitu dengan penerapan perundang-undangan yang berlaku secara tegas, dan (3) pendekatan sosial ekonomi dan budaya, yaitu dengan penerapan secara *top down* dan *bottom up* (komunikasi dua arah).

2.8. Pendekatan Sistem

System approach (pendekatan sistem) diartikan sebagai suatu metodologi penyelesaian masalah yang dimulai secara tentatif mendefinisikan atau merumuskan tujuan dan hasilnya adalah suatu sistem operasi yang secara efektif dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks. Oleh karena itu dalam pendekatan sistem selalu mencari keterpaduan antar bagian melalui pemahaman yang utuh. Pada pendekatan sistem menurut Eriyatno (2003),

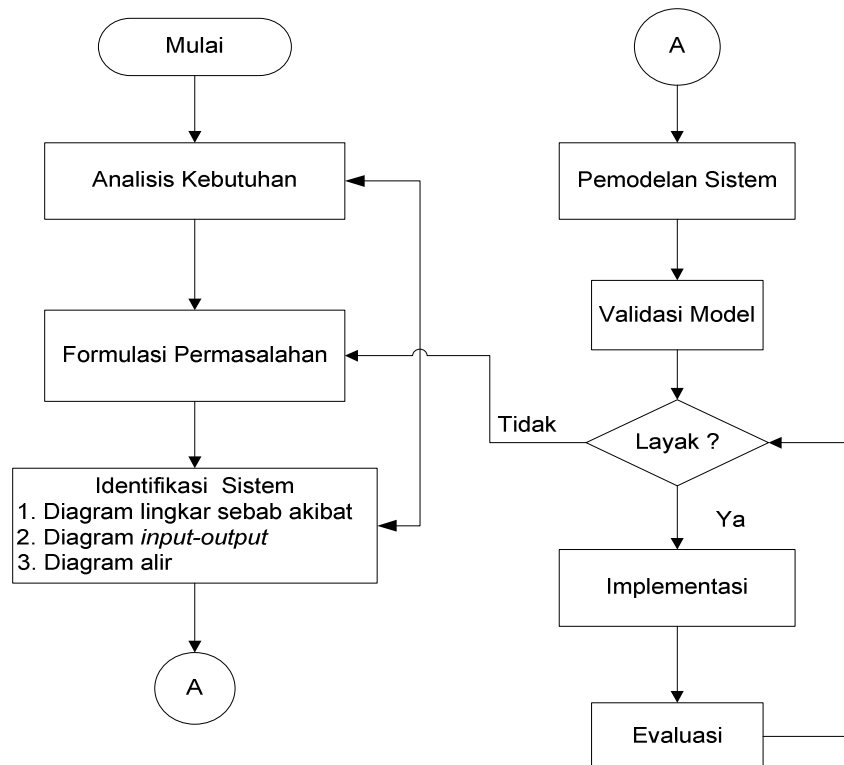
umumnya ditandai oleh dua hal yaitu: (1) mencari semua faktor yang ada dalam mendapatkan solusi yang baik untuk menyelesaikan masalah, dan (2) dibuat suatu model kuantitatif untuk membantu keputusan secara rasional.

Tiga pola dasar yang menjadi pegangan dalam penyelesaian permasalahan dengan pendekatan sistem, yaitu: 1) sibermetik (*goal oriented*), artinya dalam penyelesaian permasalahan berorientasi pada tujuan. Tujuan ini diperoleh melalui *need analysis* (analisis kebutuhan); 2) Holistik yaitu cara pandang yang utuh terhadap totalitas sistem, atau menyelesaikan permasalahan secara utuh, menyeluruh dan terpadu; dan 3) Efektif, artinya lebih dipentingkan hasil guna yang operasional serta dapat dilaksanakan, bukan sekedar pendalaman teoritis. Dengan demikian, berbagai metodologi dikembangkan sebagai karakter dalam pendekatan sistem, sehingga beragam metode yang ada di berbagai disiplin ilmu lainnya dapat digunakan sebagai alat bantu oleh ahli sistem.

Menurut Manetsch dan Park (1977), suatu pendekatan sistem akan dapat berjalan dengan baik jika terpenuhi kondisi-kondisi berikut: 1) tujuan sistem didefinisikan dengan baik dan dapat dikenali jika tidak dapat dikuantifikasikan, 2) prosedur pembuatan keputusan dalam sistem riil adalah tersentralisasi atau cukup jelas batasannya, dan 3) dalam perencanaan jangka panjang memungkinkan untuk dilakukan. Sedangkan menurut Ford (1999), mendefinisikan sistem sebagai suatu kombinasi dari dua atau lebih elemen yang saling terkait dan memiliki ketergantungan antar komponen.

Lebih lanjut Eriyatno (2003) menyatakan bahwa untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks dengan pendekatan sistem melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) analisis kebutuhan, bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan dari semua pelaku dalam sistem, (2) formulasi permasalahan, yang merupakan kombinasi dari semua permasalahan yang ada dalam sistem, (3) identifikasi sistem, bertujuan untuk menentukan variabel-variabel sistem dalam rangka memenuhi kebutuhan semua pelaku dalam sistem, (4) pemodelan abstrak, pada tahap ini mencakup suatu proses interaktif antara analisis sistem dengan pembuat keputusan, yang menggunakan model untuk mengeksplorasi dampak dari berbagai alternatif dan variabel keputusan terhadap berbagai kriteria sistem, (5) implementasi, tujuan utamanya adalah untuk memberikan wujud fisik dari

sistem yang diinginkan, dan (6) operasi, pada tahap ini akan dilakukan validasi sistem. Pada tahap ini terjadi modifikasi-modifikasi tambahan karena cepatnya perubahan lingkungan dimana sistem tersebut berfungsi. Menurut Pramudya (1989), pendekatan sistem dilakukan dengan tahapan kerja yang sistematis yang dimulai dari analisis kebutuhan hingga tahap evaluasi, seperti disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan kerja dalam pendekatan sistem (Pramudya, 1989).

Analisis sistem merupakan kajian mengenai struktur sistem yang bertujuan (1) mengidentifikasi unsur-unsur penyusun sistem atau sub-sistem, (2) memahami proses-proses yang terjadi dalam sistem, dan (3) memprediksi kemungkinan-kemungkinan keluaran sistem yang terjadi sebagai akibat adanya perubahan dalam sistem. Dengan demikian analisis sistem dapat diartikan sebagai suatu metode pendekatan masalah atau metode ilmiah yang merupakan dasar dalam pemecahan masalah dalam pengelolaan sistem tersebut. Menurut Pramudya (1989), analisis sistem merupakan studi mengenai sistem atau organisasi dengan menggunakan azas-azas metode ilmiah, sehingga dapat dibentuk konsepsi dan

model yang dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan untuk mengadakan perubahan-perubahan struktur dan metode serta menentukan kebijakan, strategi, dan taktik.

Winardi (1989) menyatakan bahwa sistem harus dipandang secara *holistik* (keseluruhan) dan akan bersifat sebagai *goal seeking* (pengejar sasaran), sehingga terjadi sebuah keseimbangan untuk pencapaian tujuan. Suatu sistem mempunyai *input* (masukan) yang akan berproses untuk menghasilkan *output* (keluaran). Pada suatu sistem terdapat umpan balik yang berfungsi sebagai pengatur komponen-komponen sistem yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan. Sistem yang lebih besar dapat terdiri atas beberapa sub-sistem (sistem kecil) yang akan membentuk suatu hirarki.

Perubahan pada satu komponen dari suatu sistem akan mempengaruhi komponen lain dan biasanya akan menghasilkan umpan balik pada periode yang sama atau pada periode berikutnya. Perubahan tersebut dapat disebabkan oleh faktor internal (dari dalam sistem) maupun faktor eksternal (dari luar sistem). Sistem dinamis merupakan sistem yang memiliki variabel yang dapat berubah sepanjang waktu sebagai akibat dari perubahan *input* dan interaksi antar elemen-elemen sistem. Dengan demikian nilai *output* sangat tergantung pada nilai sebelumnya dari variabel *input* (Djojomartono, 2000).

2.9. Modeling (Pemodelan)

Modeling (pemodelan) diartikan sebagai suatu gugus pembuatan model (Eriyatno, 2003). Pramudya (1989) mendefinisikan model adalah suatu abstraksi dari keadaan sesungguhnya atau merupakan pernyataan sistem nyata untuk memudahkan pengkajian suatu sistem. Sejalan dengan pernyataan tersebut Muahammadi *et al.* (2001) menyatakan bahwa model adalah suatu bentuk yang dibuat untuk menirukan suatu gejala atau proses. Dalam pelaksanaan pendekatan sistem, pengembangan model merupakan hal yang sangat penting yang akan menentukan keberhasilan dalam mempelajari sistem secara keseluruhan. Disamping itu, pengembangan model diperlukan guna menemukan peubah-peubah penting dan tepat serta hubungan antar peubah dalam sistem yang dikaji. Menurut Winardi (1989), model adalah suatu gambaran abstrak dari sistem dunia nyata dalam hal-hal tertentu. Model tersebut memperlihatkan hubungan langsung

maupun tidak langsung serta kaitan timbal balik dalam istilah sebab akibat. Suatu model yang baik akan menggambarkan dengan baik segi tertentu yang penting dari perilaku dunia nyata .

Dalam membangun suatu model harus dimulai dari konsep yang paling sederhana dengan cara mendefinisikan permasalahan secara hati-hati serta menggunakan analisis sensitivitas untuk membantu menentukan rincian model. Selanjutnya untuk penyempurnaan dilakukan dengan menambahkan variabel secara gradual sehingga diperoleh model yang logis dan dapat merepresentasikan keadaan yang sebenarnya.

Model yang dibangun haruslah merupakan gambaran yang sah dari sistem yang nyata, realistik dan informatif. Model yang tidak sah akan memberikan hasil simulasi yang sangat menyimpang dari kenyataan yang ada, sehingga akan memberikan informasi yang tidak tepat. Model yang dianggap baik apabila model dapat menggambarkan semua hal yang penting dari dunia nyata dalam sistem tersebut. Lebih lanjut Pramudya (1989) menyatakan bahwa ada empat keuntungan penggunaan model dalam penelitian dengan menggunakan pendekatan sistem yaitu: (1) memungkinkan melakukan penelitian yang bersifat lintas sektoral dengan ruang lingkup yang luas, (2) dapat melakukan eksperimentasi terhadap sistem tanpa mengganggu (memberikan perlakuan) tertentu terhadap sistem, (3) mampu menentukan tujuan aktivitas pengelolaan dan perbaikan terhadap sistem yang diteliti, dan (4) dapat dipakai untuk menduga (meramal) perilaku dan keadaan sistem pada masa yang akan datang.

Penggunaan model sistem dinamis merupakan salah satu cara untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dalam pendekatan sistem (Winardi, 1989; Muhammadi *et al.*, 2001). Langkah pertama dalam menyusun model sistem dinamis adalah menentukan struktur model yang akan memberikan bentuk dan sekaligus memberi ciri yang mempengaruhi perilaku sistem. Perilaku sistem tersebut dibentuk oleh kombinasi perilaku simpal *causal-loop* (sebab-akibat) yang menyusun struktur model. Semua perilaku model dapat disederhanakan menjadi struktur dasar yaitu mekanisme dari masukan, proses, keluaran, dan umpan balik. Mekanisme tersebut akan berkerja menurut perubahan waktu atau bersifat dinamis

yang dapat diamati perilakunya dalam bentuk unjuk kerja (*level*) dari suatu model sistem dinamis.

Menurut Muahammadi *et al.* (2001) dan Eriyatno (2003), model dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu:

- (1) model *ikonik* (model fisik) yaitu model yang mempunyai bentuk fisik sama dengan barang yang ditirukan, meskipun skalanya dapat diperbesar atau diperkecil,
- (2) model *analog* (model diagramatik) yaitu model suatu proses atau sifat, model ini sifatnya lebih sederhana dan sering dipakai pada situasi khusus, seperti pada proses pengendalian mutu industri, dan
- (3) model *simbolik* (model matematik) yaitu model yang menggunakan simbol-simbol matematika.

Untuk memahami struktur dan perilaku sistem, yang akan membantu dalam pembentukan model dinamik kuantitatif digunakan *causal-loop diagram* (diagram lingkaran sebab-akibat) dan *flow chart diagram* (diagram alir). Pada sistem dinamis, diagram sebab akibat ini akan digunakan sebagai dasar untuk membuat diagram alir yang akan disimulasikan dengan menggunakan program *powersim*. Program ini dapat memberikan gambaran tentang perilaku sistem, sehingga dengan simulasi dapat ditentukan alternatif terbaik dari sistem yang dibangun. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan kesimpulan dan kebijakan apa yang harus dilakukan untuk mengantisipasi atau mengubah perilaku sistem yang terjadi.

Kinerja pada model dinamis ditentukan oleh kekhususan dan struktur dari model yang dibangun. Melalui simulasi akan didapatkan perilaku dari suatu gejala atau proses yang terjadi dalam sistem yang dikaji, sehingga dapat dilakukan analisis dan peramalan perilaku dari gejala atau proses tersebut di masa depan. Empat tahapan dalam melakukan simulasi model (Muhammadi *et al.*, 2001), yaitu:

- (a) Penyusunan konsep, pada tahap ini dilakukan identifikasi unsur-unsur yang berperan dalam menimbulkan gejala atau proses. Dari unsur-unsur dan keterkaitannya dapat disusun gagasan atau konsep mengenai gejala (proses) yang akan disimulasikan,

- (b) Pembuatan model, gagasan atau konsep yang dihasilkan pada tahap pertama selanjutnya dirumuskan sebagai model yang berbentuk uraian, gambar atau rumus,
- (c) Simulasi model; pada model kuantitatif, simulasi dilakukan dengan memasukkan data ke dalam model, sedangkan pada model kualitatif, simulasi dilakukan dengan menelusuri dan melakukan analisis hubungan sebab akibat antar variabel dengan memasukkan data atau informasi yang dikumpulkan untuk memahami perilaku gejala atau proses model.
- (d) Validasi hasil simulasi; validasi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan gejala atau proses yang ditirukan. Model dapat dinyatakan baik jika kesalahan atau simpangan hasil simulasi terhadap gejala atau proses yang terjadi di dunia nyata relatif kecil.

2.10. Validitas dan Sensitivitas Model

Model yang baik adalah model yang dapat merepresentasikan keadaan yang sebenarnya. Untuk menguji kebenaran suatu model dengan kondisi obyektif dilakukan uji validasi (Muhammadi *et al.*, 2001). Ada dua jenis validasi dalam model, yakni validasi struktur dan validasi kinerja. Validasi struktur dilakukan untuk memperoleh keyakinan konstruksi model valid secara ilmiah, sedangkan validitas kinerja untuk memperoleh keyakinan sejauhmana model sesuai dengan kinerja sistem nyata atau sesuai dengan data empirik.

Validitas struktur meliputi dua pengujian, yaitu validitas konstruksi dan validitas kestabilan. Validitas konstruksi melihat apakah konstruksi model yang dikembangkan sesuai dengan teori. Uji validitas konstruksi ini sifatnya abstrak, tetapi konstruksi model yang benar secara ilmiah berdasarkan teori yang ada akan terlihat dari konsistensi model yang dibangun (Muhammadi *et al.*, 2001). Menurut Barlas (1996), validitas kestabilan merupakan fungsi dari waktu. Model yang stabil akan memberikan *output* yang memiliki pola yang hampir sama antara model agregat dengan model yang lebih kecil (*disagregasi*).

Validitas kinerja atau output model bertujuan untuk memperoleh keyakinan sejauhmana kinerja model sesuai (*compatible*) dengan kinerja sistem nyata, sehingga memenuhi syarat sebagai model ilmiah yang taat fakta. Caranya

adalah memvalidasi kinerja model dengan data empirik, untuk melihat sejauhmana perilaku output model sesuai dengan perilaku data empirik. Hal ini dapat dilakukan dengan cara: (1) membandingkan pola output model dengan data empirik, dan (2) melakukan pengujian secara statistik untuk melihat penyimpangan antara output simulasi dengan data empirik dengan beberapa cara, antara lain AME (*absolute mean error*), AVE (*absolute variation error*) dan U-Theil's (Barlas, 1996; Muahammadi *et al.*, 2001). Disamping itu juga digunakan uji DW (*Durbin Watson*) dan KF (*Kalman Filter*) untuk menjelaskan kesesuaian antara hasil simulasi terhadap data aktual.

Untuk mengetahui kekuatan (*robustness*) model dalam dimensi waktu dilakukan uji sensitivitas. Uji ini dilakukan untuk mengetahui respon model terhadap stimulus. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui alternatif tindakan baik untuk menjelaskan sensitivitas parameter, variabel dan hubungan antar variabel dalam model. Hasil uji sensitivitas dalam bentuk perubahan perilaku atau kinerja model, digunakan untuk menganalisis efek intervensi terhadap model.

Uji sensitivitas model dapat dilakukan dengan dua macam (Muhammadi *et al.* 2001): (1) intervensi fungsional, yakni dengan memberikan fungsi-fungsi khusus terhadap model dengan menggunakan fasilitas, antara lain: *step, random, pulse, ramp dan forecast, trend, if, sinus dan setengah sinus*, dan (2) intervensi struktural, yakni dengan mempengaruhi hubungan antar unsur atau struktur model dengan cara mengubah struktur modelnya. Sensitivitas model mengungkapkan hasil-hasil intervensi terhadap unsur dan struktur sistem. Disamping itu, analisis sensitivitas model juga berfungsi dalam menemukan alternatif tindakan atau kebijakan, baik untuk mengakselerasi kemungkinan pencapaian hasil positif maupun untuk mengantisipasi kemungkinan dampak negatif.

2.11. Persepsi Masyarakat dalam Pengendalian pencemaran

Konsep persepsi pada dasarnya merupakan suatu konsep dan kajian psikologi. Persepsi merupakan pandangan individu terhadap suatu objek. Akibat adanya stimulus, individu memberikan reaksi (respon) berupa penerimaan atau penolakan terhadap stimulus tersebut (Langevelt, 1996 *dalam* Harihanto, 2001). Individu tidak hanya merespon suatu objek, tetapi juga memberi makna situasi tersebut menurut kepentingannya.

Proses terbentuknya persepsi terjadi sebagai hasil proses penerimaan informasi melalui penarikan kesimpulan atau pembentukan arti yang dikaitkan dengan kesan atau ingatan untuk kejadian yang sama dimasa lalu. Kunci pemahaman terhadap persepsi masyarakat terhadap suatu objek, terletak pada pengenalan dan penafsiran unik terhadap objek pada suatu situasi tertentu dan bukan merupakan suatu pencatatan yang sebenarnya dari situasi tersebut. Informasi dan situasi dapat berfungsi sebagai stimulus bagi terbentuknya suatu persepsi, walau informasi tentang lingkungan itu juga bisa berupa suatu situasi tertentu, tidak harus berupa rangkaian kalimat atau isyarat (Thoha, 1988). Proses kognitif yang bisa terjadi pada setiap orang dalam memahami lingkungannya dapat diperoleh melalui penglihatan, pendengaran, penghayatan, perasaan maupun penciuman.

Ada tiga rangkaian proses yang membentuk persepsi, yaitu seleksi, organisasi dan interpretasi. Stimulus yang diterima mula-mula diseleksi, hanya stimulus yang sesuai dengan kebutuhan atau menarik perhatian saja kemudian diubah menjadi kesadaran. Pada tahap organisasi, stimulus yang diterima seseorang disusun secara sederhana dan terpadu, sedangkan pada tahap interpretasi yakni dilakukan penilaian dan pengambilan keputusan.

Seseorang akan menangkap berbagai gejala atau rangsangan di luar dirinya melalui indra yang dimilikinya dan selanjutnya akan memberikan interpretasi terhadap rangsangan tersebut. Pemaknaan individu terhadap suatu objek kemudian akan membentuk struktur kognisi di dalam dirinya. Data yang diperoleh terhadap suatu objek tertentu akan masuk ke dalam kognisi mengikuti prinsip organisasi kognitif yang sama dan proses ini tidak hanya berkaitan dengan penglihatan tetapi juga melalui semua indra manusia. Hasil interpretasi tersebut merupakan bagaimana pengertian atau pemahaman seseorang terhadap suatu objek.

Persepsi masyarakat terhadap lingkungan diperlukan untuk mengoptimalkan kualitas lingkungan sesuai dengan persepsi masyarakat yang menggunakannya. Persepsi mengenai lingkungan yang mencakup harapan, aspirasi ataupun keinginan terhadap suatu kualitas lingkungan tertentu sebaiknya dipahami secara subjektif, yakni dikaitkan dengan aspek-aspek psikologis dan sosio kultur masyarakat. Dengan demikian, kualitas lingkungan harus didefinisikan secara

umum sebagai lingkungan yang memenuhi preferensi imajinasi ideal seseorang atau sekelompok orang.

Persepsi bukanlah sesuatu hal yang memiliki sifat statis, tetapi terbuka terhadap berbagai informasi yang muncul dari lingkungan. Krech (1985) menyatakan bahwa perubahan persepsi dapat terjadi akibat berkembangnya pemahaman terhadap lingkungan ataupun akibat terjadinya perubahan kebutuhan nilai-nilai yang dianut, sikap dan sebagainya. Dengan demikian persepsi masyarakat yang ada di sekitar perairan danau akan dipengaruhi oleh karakteristik personalnya, seperti umur, pendidikan, pekerjaan, pendapatan dan lokasi tempat tinggalnya (lingkungan). Pada gilirannya persepsi masyarakat tersebut akan mempengaruhi sikap dan perilakunya terhadap pemanfaatan dan pelestarian sumberdaya alam perairan danau. Khusus dalam penelitian ini, pengertian persepsi masyarakat sekitar danau dibatasi sebagai tanggapan mereka tentang pengendalian pencemaran perairan Danau Maninjau dalam hal pencegahan, penanggulangan dan partisipasi.