

## II. TINJAUAN PUSTAKA

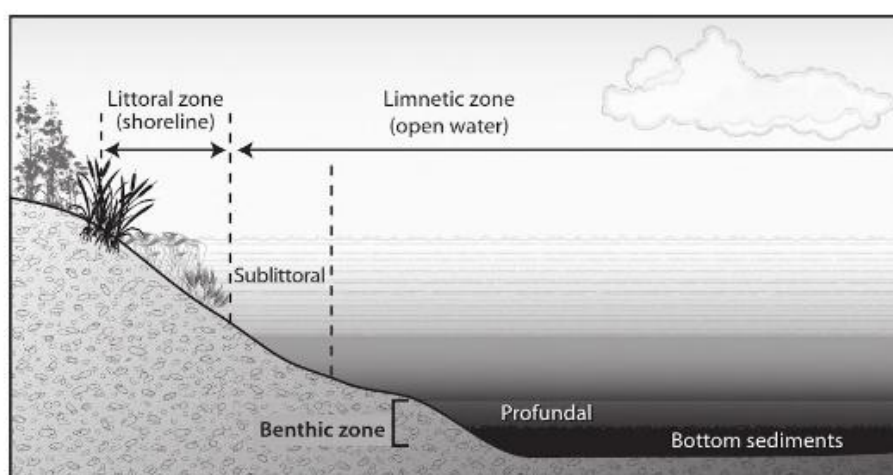
### 2.1 Danau

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan/atau Waduk mendefinisikan danau sebagai wadah air dan ekosistemnya yang terbentuk secara alamiah termasuk situ dan wadah air sejenis dengan sebutan istilah lokal (MenLH, 2009). Jika wadah air yang terbentuk adalah sebagai akibat dibangunnya bendungan dan berbentuk pelebaran alur atau badan atau palung sungai, maka danau buatan tersebut dinamakan waduk atau bendungan. Berdasarkan luas permukaannya, danau dibedakan menjadi empat kategori yaitu danau sangat besar ( $>10.000 \text{ km}^2$ ), besar ( $100-10.000 \text{ km}^2$ ), menengah ( $1-100 \text{ km}^2$ ) dan kecil ( $0,1-1 \text{ km}^2$ ) (Jorgensen *et al.*, 2013).

Danau merupakan ekosistem air tawar yang berdasarkan aliran airnya termasuk ekosistem air tergenang (lentik). Danau dapat terbentuk melalui berbagai proses alam seperti gempa (tektonik), sesar, letusan gunung berapi (vulkanik), dataran banjir, meander (Hadisusanto, 2015), karst (Chrismadha *et al.*, 2011) gletser maupun laguna (ILEC, 2005). Sebagian besar danau di Indonesia merupakan danau tektonik, vulkanik dan dataran banjir serta sebagian kecil berupa danau karst. Contoh danau tektonik adalah Danau Matano, Poso, Towuti dan Limboto di Sulawesi. Danau vulkanik dan tektovulkanik banyak ditemui di Pulau Sumatera seperti Danau Maninjau, Singkarak dan Toba serta Danau Batur di Bali. Pulau Kalimantan yang cenderung tenang dan tidak terpengaruh dengan gerak tektonik cenderung memiliki danau yang dangkal karena terbentuk dari dataran banjir dan meander seperti danau Semayang-Melintang dan Sentarum (Chrismadha *et al.*, 2011; Haryani, 2013).

Sebagian besar sumber air danau berasal dari sungai yang masuk ke dalamnya. Sungai-sungai mengalirkan air yang berasal dari daerah aliran sungainya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai, daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan

satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Definisi DAS ekuivalen dengan definisi daerah tangkapan air (DTA) (Wetzel, 2001), sedangkan pada peraturan yang sama, DTA diartikan sebagai kawasan di hulu danau yang memasok air ke danau. DTA dapat pula diartikan sebagai wilayah daratan yang menerima air hujan dan mengalirkannya melalui anak sungai utama (KLH, 2011a).



Gambar 1. Zona danau berdasarkan karakteristik bentik (Sumber: Cole dan Weihe 2016)

Pembagian zona bentik danau dibedakan menjadi zona litoral, sublitoral, profundal dan limnetik (Cole dan Weihe, 2016). Zona litoral merupakan daerah dangkal yang berbatasan dengan garis tepi danau yang masih kaya sinar matahari dan dihuni oleh tanaman air berakar. Cahaya matahari mulai berkurang intensitasnya pada zona sublitoral sehingga sangat sedikit makroflora bentik yang tumbuh namun masih cukup mendapatkan oksigen. Zona profundal merupakan daerah danau dalam yang membatasi penetrasi sinar matahari, keberadaan oksigen sangat terbatas, ber-pH rendah dan kaya akan metana dan  $\text{CO}_2$ . Zona limnetik atau disebut pula zona pelagik dan zona air terbuka merupakan daerah yang tidak banyak dipengaruhi aktivitas pesisir maupun dasar danau, merupakan habitat bagi

plankton serta berbagai flora dan fauna air. Ilustrasi pembagian zona danau ditampilkan pada Gambar 1.

Berdasarkan status trofiknya, Kementerian Lingkungan Hidup mengklasifikasikan danau di Indonesia menjadi empat tipe yaitu oligotrof, mesotrof, eutrof dan hipereutrof (Tabel 1). Status trofik merupakan suatu keadaan yang menggambarkan produktivitas primer danau (Chrismadha *et al.*, 2011), sementara produktivitas primer diartikan sebagai laju energi radiasi yang disimpan oleh aktivitas fotosintetis dan kemosintetis produsen dalam bentuk substansi organik (Hadisusanto, 2015). Status trofik dapat diketahui dari karakteristik fisik (transparansi dan sedimentasi), karakteristik kimia (rasio nitrogen-fosfor, konsentrasi oksigen dan pH) dan karakteristik biologi (densitas dan diversitas fitoplankton, kandungan klorofil) (Hadisusanto, 2015). Danau bertipe oligotrof mempunyai jeluk yang dalam, diversitas tinggi dan densitas yang rendah. Sebaliknya danau eutrof umumnya relatif dangkal, diversitas rendah namun densitas air tinggi.

Tabel 1. Kriteria status trofik danau

Status trofik danau	Kadar rata-rata total Nitrogen ( $\mu\text{g/l}$ )	Kadar rata-rata total Fosfor ( $\mu\text{g/l}$ )	Kadar rata-rata klorofil-a ( $\mu\text{g/l}$ )	Kecerahan rata-rata (m)
Oligotrof	$\leq 650$	$< 10$	$< 2,0$	$\geq 10$
Mesotrof	$\leq 750$	$< 30$	$< 5,0$	$\geq 4$
Eutrof	$\leq 1.900$	$< 100$	$< 15$	$\geq 2,5$
Hipereutrof	$> 1.900$	$\geq 100$	$\geq 200$	$< 2,5$

Sumber: (MenLH, 2009)

## 2.2 Pencemaran Danau

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air mendefinisikan pencemaran air sebagai masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air limbah yang telah ditetapkan (MenLH, 2010). Bahan pencemar dari luar danau dapat masuk melalui dua cara (Le *et al.*, 2010), yaitu berasal dari sumber tertentu (*point source*) dan dari sumber tak tentu (*nonpoint source pollutant*).

Sumber tertentu merujuk pada air limbah industri dan domestik yang memiliki aliran tetap menuju danau, sedangkan sumber tak tentu merupakan limbah yang berasal dari aktivitas pertanian, perikanan, pemukiman dan erosi tanah yang umumnya tidak memiliki jalur langsung menuju danau (Zhang *et al.*, 2010). Karakteristik limbah sumber tertentu dan sumber tak tentu dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Limbah

	Sumber Tertentu ( <i>Point Sources</i> )	Sumber Tak Tentu ( <i>Diffuse Sources</i> )
Limbah Domestik	Aliran limbah urban dalam sistem saluran dan sistem pembuangan limbah domestik terpadu	Aliran limbah daerah pemukiman di Indonesia pada umumnya
Limbah Non-domestik	Aliran limbah industri, pertambangan	Aliran limbah pertanian, peternakan, dan kegiatan usaha kecil-menengah

Sumber: (MenLH, 2010)

Pengendalian bahan pencemar dari sumber tak tentu lebih sulit dilakukan karena sulit membendung aliran bahan pencemar yang terdifusi dalam tanah, apalagi jika di sekitar danau terdapat praktik pertanian dan peternakan (Berka *et al.*, 2001). Sektor pertanian dan peternakan menjadi sumber pencemar perairan terbesar di berbagai belahan dunia (Kim *et al.*, 2001; Withers and Haygarth, 2007; Zhang *et al.*, 2013). Lahan pertanian menyerap pupuk anorganik yang kaya kandungan nitrogen dan fosfor, dua unsur yang berkontribusi pada efek rumah kaca dan eutrofikasi (Kim *et al.*, 2001; Withers dan Haygarth, 2007; Savci, 2012).

Sektor peternakan turut menyumbang beban pencemaran perairan berkat kotorannya yang masuk ke aliran air permukaan maupun terdeposit dalam tanah dapat mengalir menuju danau (Withers *et al.*, 2001). Tidak hanya memperkaya nutrien dalam air, limbah ternak juga mengandung potensi yang membahayakan bagi manusia dengan adanya residu bahan tambahan makanan, hormon dan antibiotik yang mungkin masuk melalui aliran air (FAO, 2013).

Meskipun sumber pencemar terbesar berasal dari kegiatan pertanian, aktivitas masyarakat di sekitar danau turut menjadi salah satu penyumbang cemaran danau (Bressers dan Kuks, 2004). Cemaran nitrogen dan fosfor diketahui meningkat seiring dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk. Faktor-faktor

yang mempengaruhi meningkatnya limbah pemukiman adalah jumlah populasi, pertumbuhan ekonomi, urbanisasi dan perkembangan teknologi pengolahan limbah dan sistem pembuangan (Suwarno *et al.*, 2014).

Semakin banyak nutrien yang masuk ke danau, maka kondisi danau semakin menuju eutrof. Dalam konteks ekosistem perairan, eutrofikasi merujuk pada keadaan naiknya produktivitas komunitas biotik dan turunnya kemampuan metabolisme organisme sebagai wujud adaptasi dari kenaikan pasokan nutrien ke dalam ekosistem perairan (Wetzel, 2001). Eutrofikasi dapat terjadi secara alami akibat kebakaran hutan, erosi, gempa atau masukan nutrien dari kotoran burung, namun kebanyakan eutrofikasi disebabkan oleh ulah manusia (Soeprbowati dan Suedy, 2010).

Eutrofikasi pada danau sangat dipengaruhi oleh masukan nitrogen, fosfor, karbon (Schindler, 1974), sulfur (Holmer dan Storkholm, 2001), besi (Fe) dan interaksi masing-masing bahan organik tersebut (Sterner, 2008). Dua unsur utama penyumbang eutrofikasi adalah nitrogen dan fosfor (Le *et al.*, 2010) yang merupakan produk samping dari perpaduan cahaya, panas dan hidrodinamika yang berasal dari serangkaian proses-proses biologi, kimia dan fisika. Penggunaan fosfor yang meningkat tajam di era industrialisasi meningkatkan jumlah kasus eutrofikasi di dunia. Diperkirakan jumlah fosfor yang tersimpan dalam tanah dan air tawar meningkat 75% dibandingkan sebelum era industri (Bennett *et al.*, 2001).

Eutrofikasi dapat menyebabkan ledakan populasi alga (*blooming algae*) dan tumbuhan air berakar dan mengapung karena tingginya nutrien yang terkandung dalam danau. Tumbuhan air yang berkembang biak dengan cepat ini kemudian menutup permukaan air sehingga menghalangi penetrasi cahaya dan menghambat proses fotosintesis fitoplankton. Akibatnya, produktivitas primer menjadi terganggu, populasi zooplankton menurun dan pada gilirannya menurunkan populasi ikan (Hadisusanto, 2015).

Ledakan tanaman air turut menyumbang sedimentasi danau. Sumber pendangkalan danau berasal dari dua tempat yaitu sedimen dari aliran sungai dan sedimen hasil pelapukan tanaman air. Sedimentasi yang berasal dari sungai

berhubungan dengan laju erosi, sedangkan laju erosi sesuai USLE dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor erosivitas, erodibilitas tanah, panjang lereng, kecuraman lereng, faktor vegetasi penutupan tanah & pengelolaan tanaman dan faktor tindakan konservasi (Stone dan Hilborn, 2012).

## 2.3 Parameter Pencemaran Danau

### 2.3.1 Parameter Fisika

#### a. Total Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid/TSS*)

Total Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid/TSS*) adalah bahan dalam air yang tidak mampu melewati saringan berpori  $\pm 1,58 \mu\text{m}$  dan dikeringkan pada suhu tertentu ( $103\text{-}105^\circ\text{C}$ ) (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Bahan tersebut, yang kemudian disebut padatan, dapat berupa alga yang mengindikasikan kondisi eutrof sebuah perairan, dapat pula berupa tanah yang mengindikasikan tingkat erosi daerah sekitarnya maupun adanya aktivitas pertambangan. Keberadaan TSS akan mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam perairan sehingga mengganggu fotosintesis tumbuhan air yang pada gilirannya akan mengganggu kelangsungan hidup ikan dan biota lain. TSS dapat pula membusuk dan membentuk deposit di dasar perairan. Buruknya saluran pembuangan limbah dapat pula mempengaruhi nilai TSS pada perairan (US-EPA, 2001).

#### b. Total Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solid/TDS*)

Total Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solid/TDS*) merupakan bahan dalam air yang berhasil lolos dari saringan berpori  $\pm 1,58 \mu\text{m}$  dan dikeringkan pada suhu tertentu ( $103\text{-}105^\circ\text{C}$ ). TDS terdiri dari bahan-bahan koloid maupun larutan yang berdiameter  $0,001$  sampai dengan  $1 \mu\text{m}$  (Tchobanoglous *et al.*, 2003). TDS dapat berupa ion maupun bahan tidak berion. Jika suatu perairan memiliki nilai TDS yang tinggi, perairan tersebut dapat dikatakan salin (US-EPA, 2001).

#### c. Suhu

Suhu merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas air. Beberapa parameter kualitas air lain dipengaruhi oleh suhu seperti amonia dan oksigen terlarut. Oksigen akan lebih mudah terlarut dalam suhu yang

dingin dibandingkan dengan suhu yang hangat. Peningkatan suhu perairan akan menurunkan kandungan oksigen. Kenaikan suhu sebanyak 10°C akan meningkatkan laju reaksi dua kali lipat yang berakibat pada turunnya nilai oksigen terlarut. Suhu berikut kandungan oksigen di suatu perairan dapat menentukan jenis ikan dan organisme lain yang dapat hidup di dalamnya (Tchobanoglous *et al.*, 2003; US-EPA, 2001)

### 2.3.2 Parameter Kimia

#### a. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan angka logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen. Pada umumnya, organisme dapat hidup pada kisaran pH 6 – 9 (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Perairan tawar mempunyai kisaran pH 4,5-10. Kadar pH mempengaruhi parameterlainnya seperti konsentrasi amonia, desinfeksi klorin, TDS dan kelarutan logam. Pada perairan dengan pH asam, air dapat bersifat korosif (US-EPA, 2001).

#### b. Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*)

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) dibutuhkan bagi setiap makhluk hidup aerob untuk respirasi. Jumlah oksigen terlarut dipengaruhi oleh: kelarutan gas, tekanan parsial gas di atmosfer, suhu dan konsentrasi bahan lain dalam larutan (salinitas, TSS, dll) (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Dalam suatu perairan yang mengalami eutrofikasi, seringkali nilai DO pada siang hari berbeda jauh dengan malam hari. Di siang hari saat fitoplankton melakukan fotosintesis, DO akan meningkat. Namun di malam hari, nilai DO bisa jadi turun drastis. Dini hari, kondisi DO yang berada di titik minimum mampu membunuh ikan (US-EPA, 2001).

#### c. Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD<sub>5</sub>*)

BOD<sub>5</sub> atau seringkali disebut BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang digunakan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi secara biokimiawi bahan-bahan organik dalam suatu cairan dalam waktu lima hari (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Bahan organik yang masuk ke dalam perairan merupakan makanan bagi mikroorganisme yang ada di dalamnya. Jika kondisi perairan tidak tercemar,

bahan organik yang kompleks tersebut akan dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti CO<sub>2</sub> dan air. Air kemudian disaturasi dengan oksigen terlarut sehingga bakteri yang terdapat dalam perairan tersebut bersifat aerob. Namun, pada kondisi perairan dengan cemaran tinggi, bakteri akan kesulitan mendapatkan oksigen sehingga bakteri yang mampu bertahan adalah bakteri anaerob (US-EPA, 2001).

Data BOD biasanya dibutuhkan untuk dua tujuan. Pertama untuk mengetahui kekuatan limbah sehingga dapat diperkirakan perlakuan yang harus digunakan dalam pengolahannya. Kedua, pada limbah yang dibuang ke sungai, nilai BOD dapat digunakan untuk menghitung kekuatan sungai dalam mengasimilasi limbah tersebut (US-EPA, 2001).

d. Kebutuhan Oksigen Kimia (*Chemical Oxygen Demand/ COD*)

COD merupakan nilai ekuivalen oksigen pada bahan organik yang dapat dioksidasi secara kimiawi menggunakan dikromat dalam larutan asam (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Beberapa limbah organik tidak dapat didegradasi dalam waktu lima hari sehingga diperlukan reagen untuk mempercepat rekasi. Oleh karena itu, penghitungan COD diperlukan terutama pada perairan dengan kondisi sangat tercemar. Rasio COD:BOD normalnya adalah 100:65 atau 1,54:1 (US-EPA, 2001).

e. Nitrogen (N)

Nitrogen dan fosfor merupakan dua unsur terpenting dalam pertumbuhan mikroorganisme, tumbuhan maupun makhluk hidup lainnya. Pada prinsipnya, senyawa nitrogen berasal dari tiga sumber: senyawa nitrogen dari hewan dan tumbuhan yang membusuk; sodium nitrat dari deposit mineral dan kotoran burung; serta nitrogen yang berada di atmosfer. Dua sumber terakhir berada dalam jumlah kecil, sehingga dapat dikatakan sumber utama masukan nitrogen berasal dari bahan organik (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Sumber pencemar dari lahan pertanian dan dari deposit dasar perairan merupakan dua sumber utama nitrogen dan fosfor (Le *et al.*, 2010). Kandungan nitrat yang tinggi pada suatu perairan



seringkali menunjukkan adanya *run off* nitrogen dari pupuk dan feses ternak (US-EPA, 2001).

Nitrogen di alam berada dalam berbagai bentuk karena berbagai tahap oksidasi yang dialuinya. Total nitrogen merupakan gabungan dari nitrogen organik ( $N_{org}$ ) dan nitrogen anorganik. Nitrogen organik terdiri dari berbagai campuran, seperti asam amino, gula amino dan protein, sedangkan nitrogen anorganik berada dalam bentuk ammonia ( $NH_3$  dan  $NH_4^+$ ), nitrit ( $NO_2$ ) dan nitrat ( $NO_3$ ) (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Nitrogen umumnya berada dalam bentuk tereduksi (amonia) atau teroksidasi (nitrat). Konsentrasi nitrit sangat kecil karena nitrit merupakan bentuk intermediet dari proses oksidasi amonia menjadi nitrat. Meskipun demikian, nitrit lebih bersifat toksik sehingga kandungannya sangat dibatasi dalam air minum. Konsentrasi nitrit biasanya berkisar antara 1-2% dari konsentrasi nitrat. Penjumlahan keduanya disebut total nitrogen teroksidasi.(US-EPA, 2001).

f. Fosfor (P)

Pada umumnya, fosfor berada dalam bentuk ortofosfat, polifosfat dan fosfat organik. Ortofosfat seperti  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $H_3PO_4$  dapat segera digunakan dalam metabolisme tanpa melalui perombakan terlebih dahulu, sedangkan polifosfat meliputi dua atau lebih molekul fosfor, oksigen dan hidrogen yang terjalin secara kompleks. Polifosfat harus dirombak terlebih dahulu menjadi ortofosfat dalam sebuah reaksi hidrolisis yang berlangsung lambat (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Selain berada pada secara alami pada tumbuhan, mikroorganisme dan limbah ternak, fosfor merupakan bahan utama pembuatan pupuk dan detergen. Bersama dengan nitrogen, fosfor menyebabkan ledakan alga pada danau, menghasilkan lendir pada daerah litoral dan turut berkontribusi sebagai penyebab variasi diurnal oksigen terlarut (US-EPA, 2001).

g. Sulfur (S)

Sulfur diperlukan dalam sintesis protein dan dikeluarkan dalam degradasinya. Dalam keadaan anaerob, ion sulfat direduksi menjadi sulfida yang

apabila berikatan dengan hidrogen akan membentuk hidrogen sulfida ( $H_2S$ ). Gas ini tidak berwarna, tidak mudah terbakar, beraroma seperti telur busuk dan beracun. Bau busuk dari  $H_2S$  terjadi pada pH di bawah 7, sedangkan pada pH di atas 8, bau busuk tersebut tidak muncul. Konsentrasi  $H_2S$  yang tinggi dapat merusak kelenjar olfaktorik sehingga mengacaukan indera penciuman (US-EPA, 2001; Tchobanoglous *et al.*, 2003).

### 2.3.3 Parameter Biologi

Parameter biologi untuk kualitas air sering menggunakan jumlah bakteri coliform dan fecal coliform dalam satu liter air. Bakteri koliform merupakan bakteri yang umumnya ditemukan di saluran pencernaan manusia dan sisa pembuangannya (feses). Keberadaan bakteri koliform di dalam air menjadi indikasi adanya bakteri patogen termasuk virus. Sebaliknya, tidak ditemukannya bakteri koliform menunjukkan kecilnya kemungkinan keberadaan bakteri patogen dalam air (US EPA, 2001). Tidak semua bakteri koliform berasal dari feses, ada beberapa bakteri yang berasal dari tanah sehingga total koliform digunakan sebagai indikator untuk air minum, sedangkan fecal koliform merupakan indikator untuk air tawar (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Total koliform merupakan bakteri-bakteri gram negatif berbentuk batang yang dapat memfermentasi laktosa dengan menghasilkan gas (atau membentuk koloni selama  $24 \pm 2$  sampai  $48 \pm 3$  jam pada suhu inkubasi di media yang sesuai) pada suhu  $35 \pm 0,5^\circ C$ . Total coliform meliputi bakteri-bakteri dari genus *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* dan *Klebsiela*. Bakteri-bakteri yang dapat memproduksi gas atau koloni pada suhu inkubasi  $44,5 \pm 0,2^\circ C$  selama  $24 \pm 2$  jam masuk dalam golongan fecal coliform (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

## 2.4 Status Mutu Perairan

Kondisi ketercemaran suatu perairan digambarkan melalui status mutu airnya. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 28 tahun 2009 tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau dan/atau Waduk mendefinisikan status mutu air sebagai tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu

tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air atau kelas air yang ditetapkan (MenLH, 2009).

Penentuan status mutu air dapat menggunakan metoda STORET atau Metoda Indeks Pencemaran (MenLH, 2003). Penelitian ini menggunakan metode STORET yaitu metode untuk menentukan status mutu air yang umum digunakan dengan membandingkan antara data kualitas air dengan baku mutu air yang disesuaikan dengan peruntukannya guna menentukan status mutu air. Dengan menggunakan metode ini dapat diketahui parameter apa saja yang telah memenuhi atau melampaui baku mutu air. Dalam menentukan status mutu air menggunakan sistem nilai dari US-EPA (*Environmental Protection Agency*) *Storage and Retrieval System* dengan mengklasifikasikan mutu air menjadi empat kelas (Tabel 3).

Tabel 3. Kelas mutu air menurut metode STORET

No	Kelas	Kondisi	Skor	Keterangan
1	A	Baik Sekali	0	Memenuhi Baku mutu
2	B	Baik	-1 s/d -10	Cemar ringan
3	C	Sedang	-11 s/d -30	Cemar sedang
4	D	Buruk	$\geq$ -31	Cemar berat

Sumber: (MenLH, 2003)

## 2.5 Eceng Gondok

Eceng gondok yang oleh masyarakat sekitar Rawapening disebut *bengok* mempunyai nama latin *Eichhornia crassipes*. Berdasarkan taksonominya, eceng gondok masuk dalam genus *Eichhornia*, famili *Pontederiaceae*, ordo *Pontederiales*, kelas *Monocotyledonae*, subfilum *Angiospermae*, filum *Spermatophyta* dan kingdom *Plantae* (CABI, 2018).



Gambar 2. Eceng gondok (dokumen pribafi, 2017)

Eceng gondok berasal dari Amerika Selatan. Awalnya, tumbuhan ini digunakan sebagai tanaman hias di kolam-kolam karena memiliki bunga ungu yang sangat cantik. Eceng gondok mampu menggandakan populasinya paling cepat selama 12 hari. Cepatnya pertumbuhan eceng gondok menyebabkan tumbuhan ini dengan mudah menutupi permukaan perairan sehingga menghalangi masuknya sinar matahari dan oksigen untuk organisme lain. Lambat laun, keberadaan eceng gondok akan mengurangi diversitas ekosistem perairan, menurunkan produksi perikanan, menghalangi laju aliran air dan jalur transportasi perairan (Lowe *et al.*, 2000).

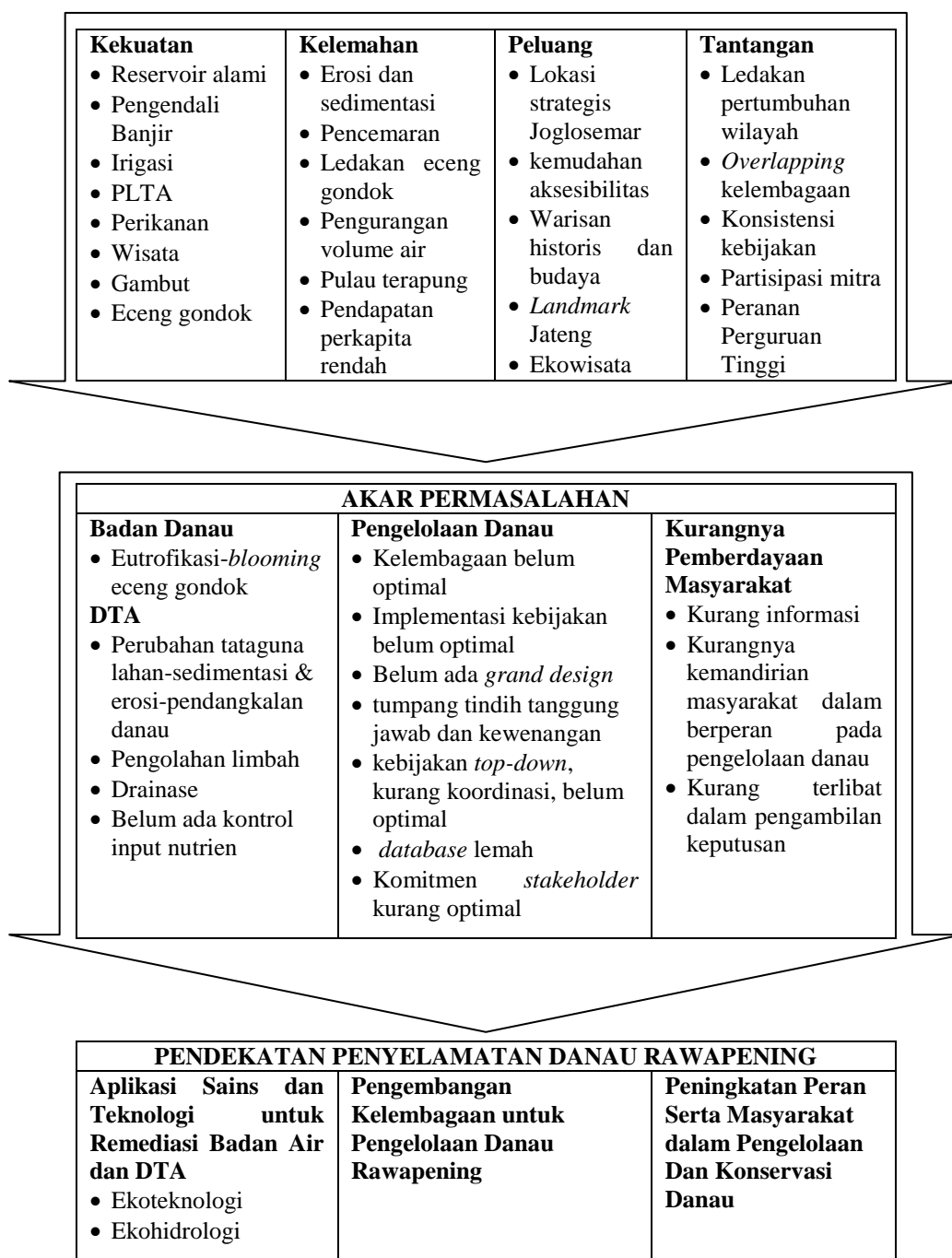
Eceng gondok lebih menyukai perairan dengan turbiditas rendah. Tutupan eceng gondok meningkat seiring turunnya turbiditas (Thi Nguyen *et al.*, 2015). Eceng gondok dapat mempengaruhi komposisi fisiokimia air, mengubah kecerahan air, hidrologi, konsentrasi oksigen terlarut, konsentrasi unsur hara dan bahan pencemar di air (Villamagna dan Murphy, 2010).

## **2.6 Gerakan Penyelamatan Danau (GERMADAN)**

Selama tahun 2012 sampai tahun 2016, program-program untuk perbaikan kondisi Danau Rawapening dirangkum dalam Gerakan Penyelamatan Danau (GERMADAN). Sebelum merumuskan program-program tersebut, tim GERMADAN telah melakukan analisis SWOT dan *Root Cause Analysis* (Gambar 3) dan berhasil mengidentifikasi tiga akar permasalahan penting Danau Rawapening. Permasalahan-permasalahan tersebut adalah permasalahan di badan danau dan DTA terutama eutrofikasi dan pendangkalan, permasalahan kelembagaan dan implementasi kebijakan serta kurangnya pemberdayaan masyarakat. Berdasarkan temuan tersebut, dilakukan tiga pendekatan penanggulangan masalah yaitu aplikasi sains dan teknologi untuk remediasi badan air dan DTA, pengembangan kelembagaan untuk peningkatan pengelolaan danau dan peningkatan peran serta masyarakat dalam pengelolaan dan konservasi danau (KLH, 2011a).

Hasil dari kajian tersebut terwujud dalam enam program superprioritas dan sebelas program prioritas (KLH, 2011a). Tiap program kemudian dijabarkan

dalam beberapa kegiatan dengan penetapan indikator yang terukur dari tahun pertama sampai tahun kelima. Selain itu, tiap program juga ditetapkan instansi penanggung jawab dan instansi pendukung. Rincian kegiatan ditampilkan pada Tabel 4.



Gambar 3. Hasil analisis SWOT, akar permasalahan dan pendekatan penyelamatan Danau Rawapening (KLH, 2011a)

Tabel 4. Program superprioritas GERMADAN, kegiatan dan penanggung jawabnya

No	Pogram Superprioritas	Kegiatan	Indikator	Penanggung Jawab
1.	pengendalian eceng gondok	<ul style="list-style-type: none"> <li>pengendalian secara mekanik</li> <li>pengendalian menggunakan biokontrol</li> <li>pengendalian menggunakan herbisida ramah lingkungan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- covering danau oleh eceng gondok (%)</li> <li>- populasi ikan koan (ekor)</li> <li>- herbisida (liter)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BBWS</li> <li>Pemali</li> <li>Juwana</li> </ul>
2.	penanggulangan lahan kritis, erosi, banjir dan sedimentasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>rehabilitasi lahan kritis secara sipil teknis dan vegetatif,</li> <li>pengaturan pola tanam, pengembangan drainase irigasi terpisah dengan drainase limbah,</li> <li>pengembangan <i>agroforestry</i>,</li> <li>pembuatan bronjong/pelindung tebing,</li> <li>monitoring debit dan sedimen,</li> <li>pembuatan bangunan pengendali sedimentasi (cek dam) dan pengaturan drainase irigasi,</li> <li>pengerukan tanah gambut,</li> <li>pengaturan drainase terintegrasi dengan kegiatan monitoring debit dan sedimen</li> <li>pembuatan sumur resapan dan lubang resapan biopori</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- luas lahan sangat kritis (ha)</li> <li>- luas lahan kritis (ha)</li> <li>- hutan rakyat (ha)</li> <li>- laju erosi (ton/ha/th)</li> <li>- laju sedimentasi (ton/th)</li> <li>- volume air danau (1000 m<sup>3</sup>)</li> <li>- rerata kedalaman danau (m)</li> <li>- dam pengendali (unit)</li> <li>- pengerukan tanah gambut (ha/th)</li> <li>- debit air ke PLTA Jelok (m<sup>3</sup>/det)</li> <li>- irigasi dari danau (Ha)</li> <li>- debit ke saluran irigasi (m<sup>3</sup>/det)</li> <li>- banjir bandang Kab. Semarang (%)</li> <li>- Persentase desa terkena banjir (Demak)</li> <li>- Banjir bandang Demak (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BPDAS</li> <li>Pemali Jratun</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Persentase desa terkena banjir (Kab.Semarang)</li> <li>- jumlah sumur resapan (unit)</li> <li>- lubang resapan (unit)</li> </ul>	
3.	penurunan kandungan nutrisi perairan danau	<p>pembuatan <i>pre-impoundment</i></p> <p>pembuatan IPAL komunitas di daerah hulu</p> <p>pengembangan dan koridorisasi <i>wetland</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- total nitrogen (mg/L)</li> <li>- amonia (mg/L)</li> <li>- klorofil-a (mg/L)</li> <li>- kecerahan air (m)</li> </ul>	Dinas Pertanian TPH Prov Jateng, BLH Prov Jateng
4.	kajian limnologi danau saat ini dan rekonstruksi kualitas air di masa lalu	<p>kajian kualitas air</p> <p>kajian kuantitas air</p> <p>kajian fungsi danau</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- total nitrogen (mg/L)</li> <li>- amonia (mg/L)</li> <li>- klorofil-a (mg/L)</li> <li>- kecerahan air (m)</li> <li>- DO (mg/L)</li> <li>- COD (mg/L)</li> <li>- BOD5 (mg/L)</li> <li>- pH</li> <li>- konduktivitas (mS/cm)</li> <li>- turbiditas (NTU)</li> <li>- TDS</li> <li>- TSS</li> <li>- TN (mg/L)</li> <li>- TP (mg/L)</li> <li>- logam berat Pb (mg/l)</li> <li>- logam berat Cd (mg/l)</li> <li>- logam berat Cr (mg/l)</li> <li>- logam berat Cu (mg/l)</li> <li>- volume air danau (1000 m<sup>3</sup>)</li> <li>- laju erosi (ton/ha/th)</li> <li>- laju sedimentasi (ton/th)</li> <li>- rerata kedalaman danau (m)</li> <li>- sumber air baku (liter/detik)</li> <li>- debit air ke PLTA Jelok (m<sup>3</sup>/det)</li> <li>- debit ke saluran irigasi (m<sup>3</sup>/det)</li> <li>- irigasi dari danau (Ha)</li> <li>- luas karamba (ha)</li> </ul>	BLH Prov. Jateng

5	implementasi pertanian ramah lingkungan	Pengembangan pertanian organik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- realisasi pupuk urea Kab. Semarang (ton)</li> <li>- realisasi pupuk superpos (ton)</li> <li>- realisasi pupuk ZA (ton)</li> <li>- pupuk NPK phonska (ton)</li> </ul>	Dinas Pertanian TPH Prov Jateng, BLH Prov Jateng
		pengembangan sistem drainase pertanian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- irigasi dari danau (Ha)</li> </ul>	
6.	Peningkatan keterlibatan dan kepedulian masyarakat dalam pengelolaan dan konservasi Danau Rawapening	<p>Pengoptimalan tenaga kerja lokal dalam kegiatan rehabilitasi dan konservasi</p> <p>pengelolaan daerah sempadan berwawasan lingkungan</p> <p>peningkatan kepedulian masyarakat terhadap lingkungan</p> <p>efisiensi pemanfaatan fungsi air danau</p> <p>pembelajaran cara bertani ramah lingkungan</p> <p>peningkatan keterlibatan masyarakat dalam aksi peduli lingkungan</p> <p>sinergisme pemerintah, masyarakat, <i>stakeholder</i>, dan perguruan tinggi dalam aksi peduli lingkungan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pendapatan per kapita (rupiah)</li> <li>- luas lahan sangat kritis (ha)</li> <li>- luas lahan kritis (ha)</li> <li>- hutan rakyat (ha)</li> <li>- pertanian pasang surut (ha)</li> <li>- pentaatan pemanfaatan sempadan (%)</li> <li>- sumber air baku (liter/det)</li> <li>- debit air ke PLTA Jelok (m<sup>3</sup>/det)</li> <li>- debit ke saluran irigasi (m<sup>3</sup>/det)</li> <li>- kelompok tani organik</li> <li>- jumlah kelompok peduli lingkungan</li> </ul>	Bapermasdes Prov. Jateng

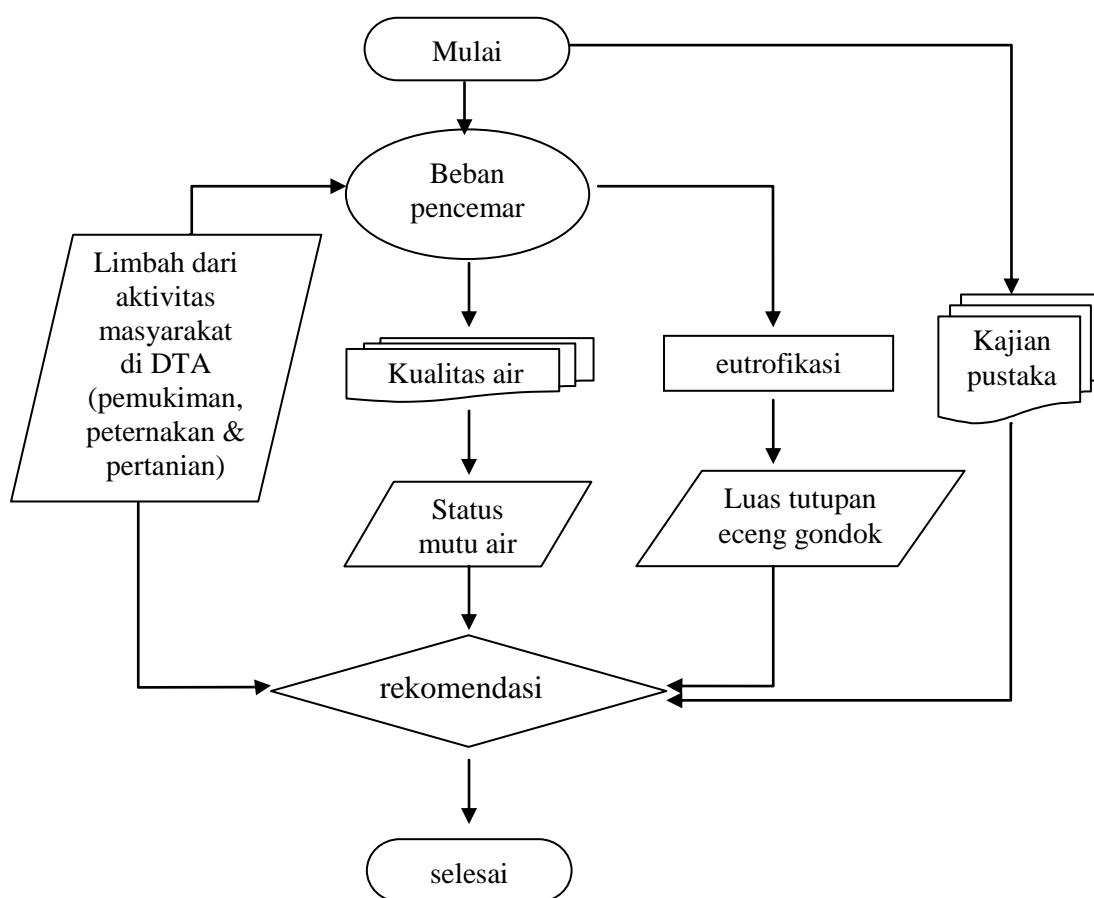
Sumber: (KLH, 2011a)

## 2.7. Kerangka Pikir

Berdasarkan perumusan masalah dan tinjauan pustaka, maka dapat dijelaskan bahwa parameter kualitas air danau selama tahun 2012 sampai 2016



dapat digunakan untuk mengetahui status mutu air Danau Rawapening sekaligus dapat memperkirakan jenis limbah yang masuk ke dalam danau. Limbah yang membawa bahan pencemar dalam danau mengakibatkan eutrofikasi dan menyuburkan eceng gondok. Rekomendasi pengendalian eceng gondok dapat diberikan setelah mengetahui jumlah dan jenis beban pencemar di DTA baik secara sektoral maupun spasial. Kerangka pikir tersebut dapat ditampilkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka pikir penelitian

