

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Ekosistem Daerah Aliran Sungai**

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai, Sungai didefinisikan alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai ke muara, dengan dibatasi kanan kiri garis sempadan sungai. Sedangkan daerah aliran sungai 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 untuk dialirkan ke laut secara alami, yang batas didarat merupakan pemisah topografis, dan batas di laut sampai di daerah perairan yang masih terpengaruh aktifitas di daratan. Sungai terdiri atas palung sungai dan sempadan sungai, dimana palung sungai adalah areal sungai yang mengalirkan air, sedangkan sempadan sungai adalah batas kanan–kiri sungai yang menghubungkan dengan ekosistem darat.

Ekosistem sungai suatu sistem ekologi yang terdiri dari komponen–komponen biotik dan abiotik pada sungai dan daerah aliran sungainya yang saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang sinergis. Setiap komponen tidak ada yang berdiri sendiri tetapi saling terkait dan ketergantungan (Asdak 1995). Dikarenakan keterkaitan yang erat saling bergantung maka dalam menilai suatu ekosistem suatu sungai harus secara holistik, yaitu dengan mengidentifikasi komponen – komponen kunci penyusun ekosistem serta menelaah hubungan antar komponen dalam ekosistem tersebut.

Daerah aliran sungai biasanya terbagi daerah hulu, tengah dan hilir. Ketiga daerah aliran sungai tersebut mempunyai karakteristik biogeofisik yang sangat berbeda. Pada bagian hulu merupakan daerah konservasi, kerapatan drainasinya tinggi, dan topografinya lebih dari 15%, pada bagian tengah kerapatan drainasinya lebih berkurang dan topografinya telah lebih landai, sedangkan pada bagian hilir merupakan dataran banjir, topografinya sangat landai dengan kelerengan kurang dari 8%. Daerah aliran sungai pada bagian hulu merupakan

ekosistem sungai yang penting, sebab mempunyai fungsi perlindungan seluruh bagian DAS. Dalam suatu perencanaan pengelolaan DAS, pengelolaan daerah aliran sungai bagian hulu menjadi focus utama pengelolaan sebab hasil pengelolaan pada bagian hulu sungai akan berimplikasi pada kualitas daerah aliran sungai pada bagian hilir (Asdak 1995).

Wilayah yang erat kaitannya dengan sungai adalah Daerah Aliran Sungai (DAS). DAS merupakan suatu ekosistem dimana di dalamnya terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, abiotik dan manusia. DAS dibatasi oleh batas alam, seperti punggung-punggung bukit atau gunung, maupun batas buatan, seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*). Sebagai suatu ekosistem, maka setiap ada masukan (*input*) ke dalam DAS, proses yang terjadi dan berlangsung didalamnya dapat dievaluasi berdasarkan keluaran (*output*) dari ekosistem tersebut. Komponen masukan dalam ekosistem DAS adalah curah hujan, sedangkan komponen keluaran terdiri dari debit air dan muatan sedimen. Komponen-komponen DAS yang berupa vegetasi, tanah dan saluran/sungai dalam hal ini bertindak sebagai prosesor (Suripin 2001).

Morfometri Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan variable pada kuantitas air sungai yang mengalir, ukuran kuantitatif karakteristik DAS yang terkait dengan proses drainase air hujan yang jatuh kedalam DAS. Parameter-parameteranya antara lain (Rahayu et al. 2009):

1. Luas DAS adalah luasnya daerah tangkapan airnya dengan variable tutupan lahan;
2. Bentuk DAS mempengaruhi jumlah air hujan yang akan masuk kesungai;
3. Jaringan sungai merupakan banyaknya jaringan anak sungai yang akan bermuara ke sungai tersebut;
4. Kerapatan aliran sungai topografi, lebar sungai dan kedalaman sungai;
5. Pola aliran sungai sangat terpengaruh dengan topografi sungai;
6. Gradiens sungai merupakan perbandingan antara beda elevasi dengan panjang sungai utama.

## 2.2 Baku Mutu Air

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya didalam air sedangkan kelas air adalah peringkat kelas air yang dinilai masih layak untuk peruntukan tertentu.

Baku mutu air disusun berdasarkan kelas – kelas air tersebut yang mengandung parameter fisika, kimia, dan biologi. Sedangkan kelas air berdasarkan peruntukannya, dibedakan menjadi empat kelas yakni :

1. Kelas I, air yang peruntukannya dapat dipergunakan untuk air baku air minum dan atau peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan air minum tersebut;
2. Kelas II, air yang peruntukannya dapat dipergunakan untuk prasarana, sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, perternakan, air untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan penggunaan tersebut;
3. Kelas III, air yang peruntukannya dapat dipergunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, perternakan, air untuk mengairi tanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
4. Kelas IV, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengendalian Pencemaran Air, baku mutu air berdasarkan peruntukan penggunaan pada kelas air seperti dibawah ini:

Tabel 2-1 Kelas Air Sesuai Peruntukan

LAMPIRAN	: PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 82 TAHUN 2001					
TANGGAL	: 14 DESEMBER 2001					
TENTANG	: PENGELOLAAN KUALITAS AIR DAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR					
<b>Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas</b>						
PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
<b>FISIKA</b>						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi temperatur dari alamiahnya
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi ≤ 5000 mg/L
<b>KIMIA ORGANIK</b>						
pH		6 - 9	6 - 9	6 - 9	5 - 9	Apabila secara alamiah dituar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas maksimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0.2	0.2	1	5	
NO <sub>3</sub> sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	0.5	(-)	(-)	(-)	Bagi Perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka ≤ 0,02 mg/L sebagai NH <sub>3</sub>
Arsen	mg/L 0,05	1	1	1	(-)	
Cobalt	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	
Cadmium	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	
Khrom (VI)	mg/L	0.05	0.05	0.05	1	
Tembaga	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu ≤ 1 mg/L
Besi	mg/L	0.3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe ≤ 5 mg/L
Timbal	mg/L	0.03	0.03	0.03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Pb ≤ 0,1 mg/L
<b>FISIKA</b>						
Mangan	mg/L	0.1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0.001	0.002	0.002	0.005	
Seng	mg/L	0.05	0.05	0.05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn ≤ 5 mg/L
Khlorida	mg/L	600	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0.02	0.02	0.02	(-)	
Fluorida	mg/L	0.5	1.5	1.5	(-)	
Nitrit sbg N	mg/L	0.06	0.06	0.06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO <sub>2</sub> -N ≤ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Khlorin Bebas	mg/L	0.03	0.03	0.03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belerang Sebagai H <sub>2</sub> S	mg/L	0.002	0.002	0.002	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H <sub>2</sub> S ≤ 0,1 mg/L
<b>MIKROBIOLOGI</b>						
- Fecal Coliform	Jml/100 ml	100	1000	2000	2000	
- Total Coliform	Jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml/100 mL dan Total Coliform ≤ 10000 jml/100 mL
<b>RADIOAKTIVITAS</b>						
- Gross-A	Bq/L	0.1	0.1	0.1	0.1	
- Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	
<b>KIMIA ORGANIK</b>						
Minyak dan Lemak	ug/L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)	
Senyawa fenol sebagai fenol	ug/L	1	1	1	(-)	
BHC	ug/L	210	210	210	(-)	
Aldrin/Dieldrin	ug/L	17	(-)	(-)	(-)	
Chlordane	ug/L	3	(-)	(-)	(-)	
DDT	ug/L	2	2	2	2	
<b>FISIKA</b>						
Heptachlor dan Heptachlor epoxide	ug/L	18	(-)	(-)	(-)	
Lindane	ug/L	56	(-)	(-)	(-)	
Methoxychlor	ug/L	35	(-)	(-)	(-)	
Endrin	ug/L	1	4	4	(-)	
Toxaphan	ug/L	5	(-)	(-)	(-)	
<b>Keterangan :</b>						
mg	= miligram					
ug	= microgram					
ml	= milimeter					
L	= Liter					
Bq	= Baquerel					
MBAS	= Methyne Blue Active Substance					
ABAM	= Air Baku untuk Air Minum					

### 2.3 Status Mutu Air

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan dengan menggunakan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan. Status mutu air adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan pada baku mutu yang ditetapkan. Penentuan status mutu air dapat menggunakan Metode Storet atau Metode Indeks Pencemaran.

Metode Storet dikembangkan oleh US-EPA dengan cara melakukan scoring parameter fisika, kimia dan biologi pada nilai data rata-rata, minimal, dan maksimal. Metode ini mengharuskan kita memiliki data yang menganalisis semua parameter fisika, kimia, dan biologi pada baku mutu dengan frekuensi data yang series.

Metode kedua yang direkomendasikan oleh Permen LH No 115 Tahun 2003 yang dikembangkan oleh Sumitomo dan Nemerow (1970) pada Universitas Texas yaitu suatu indeks yang berkaitan dengan senyawa pencemar pada suatu peruntukan. Indeks ini dikenal dengan Indeks Pencemaran (*Pollution Indeks*) yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relative terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran dapat memberikan masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas perairan akibat kehadiran senyawa pencemar.

Jika  $L_{ij}$  menyatakan konsentrasi dalam baku mutu suatu peruntukan, dan  $C_i$  menyatakan konsentrasi parameter kualitas air pada suatu perairan yang diperoleh dari hasil pengukuran suatu lokasi pada alur sungai maka Indeks Pencemaran merupakan fungsi dari  $C_i/L_{ij}$ .

$$PI_j = f(C_1/L_{1j}, C_2/L_{2j}, C_3/L_{3j}, \dots) \dots \dots \dots (2.1)$$

Nilai  $C_i/L_{ij} = 1,0$  ini adalah nilai kritik, jika  $C_i/L_{ij}$  makin besar menunjukkan makin besarnya tingkat pencemaran pada suatu perairan, jika nilai

$C_i/L_{ij}$  dibawah 1 maka kualitas perairan tersebut berada pada baku mutu sesuai dengan peruntukannya.

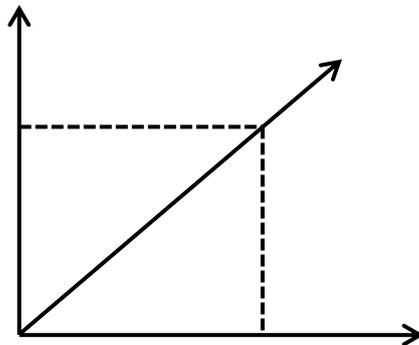
$$PI_j = f((C_i/L_{ij})_R, (C_i/L_{ij})_M) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$(C_i/L_{ij})_R$  = nilai  $C_i/L_{ij}$  rata - rata

$(C_i/L_{ij})_M$  = nilai  $C_i/L_{ij}$  maksimal

Jika  $(C_i/L_{ij})_R$  merupakan ordinat dan  $(C_i/L_{ij})_M$  merupakan absis maka  $PI_j$  merupakan titik potong dari  $(C_i/L_{ij})_R$  dan  $(C_i/L_{ij})_M$  dalam bidang yang dibatasi oleh kedua sumbu tersebut.



Gambar 2-1 Pernyataan Indeks pada suatu Peruntukan

Perairan akan semakin tercemar untuk suatu peruntukan (j) jika nilai  $(C_i/L_{ij})_R$  dan atau  $(C_i/L_{ij})_M$  adalah lebih besar dari 1,0. Jika nilai maksimum dan atau nilai rata-rata dari  $(C_i/L_{ij})$  maka tingkat pencemaran suatu badan air akan semakin besar juga. Jadi panjang garis titik asal hingga titik  $PI_j$  merupakan faktor yang memiliki makna untuk menyatakan tingkat pencemaran.

$$PI_j = m \sqrt{((C_i/L_{ij})_M)^2 + (C_i/L_{ij})_R^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : m = faktor penyeimbang

Keadaan kritik digunakan untuk menghitung nilai m

$PI_j = 1,0$  jika nilai maksimum  $C_i/L_{ij} = 1,0$  dan nilai rata-rata  $C_i/L_{ij} = 1,0$  maka,

$1,0 = m \sqrt{1^2 + 1^2}$  , maka

$m = \frac{1}{\sqrt{2}}$ , maka

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})M^2 + (C_i/L_{ij})R^2}{2}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Pada Indeks Pencemaran ini, mengklasifikasi status mutu air berdasarkan nilai Indeks Pencemarannya (PI). Klasifikasi status mutunya sebagai berikut :

1. Memenuhi baku mutu, dengan nilai PI ( $0 \leq PI \leq 1,0$ )
2. Cemar ringan, dengan nilai PI ( $1 < PI \leq 5$ )
3. Cemar sedang, dengan nilai PI ( $5 < PI \leq 10$ )
4. Cemar berat, dengan nilai PI ( $10 < PI$ )

#### 2.4 Pencemaran Air

Menurut Odum (1971) perubahan sifat fisik, kimia, biologi yang tidak dikehendaki pada perairan, udara dan tanah. Menurut Saeni (1989) pencemaran adalah akibat kegiatan manusia yang menyebabkan penambahan bermacam-macam bahan berbahaya kedalam lingkungan dan berakibat buruk bagi ekosistem didalamnya.

Berdasarkan Undang–Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran lingkungan hidup adalah masuk dan dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lainnya kedalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan.

Pencemaran air diakibatkan masuknya bahan pencemar (*polutan*) yang dapat berupa gas, bahan – bahan terlarut, dan partikulat. Pencemar dapat masuk kebadan air dengan berbagai cara misalnya melalui atmosfer, tanah, limpasan (*run off*) pertanian, limbah domestik dan perkotaan, serta pembuangan industri (Effendi 2003).

#### 2.5 Sumber Pencemar

Sumber pencemar yang memberikan beban pada perairan berdasarkan lokasinya dibedakan menjadi sumber pencemar pada titik tertentu (*point sources*), dan sumber pencemar yang tersebar (*non point sources*). Sumber pencemar titik merupakan beban pencemar keluar atau berada pada satu titik dan mudah terukur,

spasial, dan bersifat local, serta karakteristiknya seragam, misalnya pencemar yang berasal dari outlet IPAL suatu industri. Sedangkan sumber pencemar yang tersebar adalah beban pencemar tersebar dari beberapa spasial, biasanya sulit terukur kuantitas dan kualitasnya, dan karakteristiknya tidak seragam. Sumber pencemar tersebar ini misalnya limpasan air dari daerah pertanian yang membawa pestisida dan pupuk (Effendi 2003). Sumber pencemar tersebar (*non point source*) sebarannya sangat bergantung pada variable curah hujan, jenis tanah dan topografi lahan (Lo et al. 2013). Sumber pencemar tersebar berasal dari aktifitas pertanian dan perternakan, aktifitas manusia dan larian sedimen dari hutan (Lai et al. 2011).

## **2.6 Sumber Pencemar Tersebar (*Non Point Source*)**

Pencemar *non point sources* adalah pencemaran air yang disebabkan oleh curah hujan atau pencairan salju bergerak di atas atau melalui tanah, ketika air bergerak lebih atau melalui tanah, itu membawa polutan alami maupun polutan yang dihasilkan dari aktivitas manusia, dan akhirnya polutan tersebut akan berkumpul pada danau, sungai, lahan basah, perairan pantai maupun air tanah (US-EPA 1997).

Pencemaran *non point sources* mencakup kelebihan pupuk, herbisida dan insektisida dari lahan pertanian. Pencemar *non point sources* dari pemukiman dapat berupa minyak, lemak dan bahan kimia beracun dari limpasan kegiatan domestik dan produksi. Sedimen kegiatan konstruksi, tanaman, lahan dan hutan yang terbawa aliran terutama aliran air hujan. Asam yang berasal dari kegiatan pertambangan dan hujan asam, bakteri dan zat organik dari ternak, limbah hewan peliharaan serta sistem septic tank rusak yang terbawa aliran (Davis et al. 1991).

Tingginya pencemaran *non point sources* terjadi pada awal musim hujan disebabkan air hujan membawa larian pencemar dari darat ke lingkungan perairan. Pengelolaan yang tepat adalah dengan mengurangi bahan-bahan pencemar tersebut terpapar ke lingkungan yang dimungkinkan akan terikut pada aliran air hujan baik pada aliran atas permukaan tanah maupun aliran air tanah (Lai et al. 2013).

Untuk meminimalkan pencemar *non point sources* dapat dilakukan dengan cara-cara sederhana seperti (US-EPA 1997) :

1. Pengelolaan sampah rumah tangga, sisa-sisa bahan kimia dihindarkan untuk mengalir atau masuk pada drainase;
2. Menghindarkan tumpahan minyak, oli pada tanah atau sesuatu yang mempunyai peluang untuk mengalir pada drainase atau saluran air;
3. Memeriksa rutin kondisi septic tank rumah tangga sehingga berfungsi dengan baik;
4. Menggunakan produk detergen dan pembersih yang rendah fosfor;
5. Menstabilkan daerah yang rawan erosi dengan penanaman tanaman cover crop;
6. Konstruksi yang mempertimbangkan tata cara pengendalian sedimen;
7. Pengelolaan air limbah pertambangan;
8. Pengelolaan hutan dengan konservasi;
9. Mengelola kotoran ternak dengan meminimalkan kontaminasi pada tanah dan perairan;
10. Mengurangi erosi tanah dengan menggunakan praktik-praktik konservasi dan praktek manajemen pertanian yang ramah lingkungan;
11. Pengurangan penggunaan pestisida dan herbisida;

Beban pencemaran sumber *non point sources* belum dapat diukur secara langsung dilapangan. Untuk memperkirakan besarnya beban pencemaran sumber *non point sources* digunakan pendekatan faktor emisi. Potensi beban pencemaran limbah domestik dihitung menggunakan formula sebagai berikut (Iskandar 2007):

$$\text{PBP} = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{Faktor emisi} \times \text{rek} \dots \dots \dots (2.5)$$

Tabel 2-1 Faktor Emisi Limbah Domestik

No	Parameter	Faktor Emisi (gr/hr)
1	TSS	38
2	BOD	40
3	COD	55

Sumber : Iskandar (2007)

Faktor emisi limbah domestik adalah rasio potensi beban pencemaran pada perhitungan setiap orang. Perhitungan potensi beban pencemar *non point sources* berasal dari kegiatan domestik menunjukkan besaran beban pencemar yang dihasilkan akibat aktifitas sehari-hari pada setiap orang.

Tabel 2-2 Nilai Rasio Ekuivalen Kota

No	Daerah	Rasio Ekuivalen
1	Kota	1
2	Pinggiran kota	0,8125
3	Pedalaman	0,6250

Sumber : Iskandar (2007)

Pola hidup mempengaruhi besaran beban pencemar yang dihasilkan pada setiap orang. Pola hidup pada suatu dikota berbeda dengan pola hidup didaerah yang tingkat kehidupannya masih alami. Beban pencemaran yang dihasilkan dikota lebih tinggi dibandingkan didesa atau daerah pinggiran yang masih banyak mengandalkan kebutuhannya dari alam sehingga nilai rasio beban pencemar dikota lebih tinggi dari didesa.

Beban pencemaran sumber *non point sources* pada pertanian digunakan konversi luas lahan dan jenis budidaya terhadap parameter limbah pertanian:

Tabel 2-3 Perkiraan Beban Limbah dari Pertanian

No	Jenis Pertanian	Beban Pencemar Limbah Pertanian				
		BOD	N	P	TSS	Pestisida
		Kg/Ha/Musim Tanam			Lt/Ha/Musim Tanam	
1	Sawah	225	20	10	0,4	0,16
2	Palawija	125	10	5	2,4	0,08
3	Perkebunan lain	32,5	3	1,5	1,6	0,024

COD dihitung dengan mengalikan BOD x 1,5

Sumber : Iskandar (2007)

Untuk parameter COD dihitung dengan mengalikan BOD dengan Jenis pertanian mempengaruhi beban pencemaran yang dihasilkan, pertanian yang menggunakan pengairan lebih tinggi menghasilkan beban pencemaran sebab genangan air menyebabkan tingkat pembusukan bahan organik yang lebih tinggi.

Beban pencemaran sumber *non point sources* pada perternakan digunakan konversi pada tabel berikut (Iskandar 2007) :

Tabel 2-4 Konversi Beban Limbah dari Perternakan

No	Jenis Ternak	BOD	COD
		gr/ekor/hari	
1	Sapi	292	716
2	Kerbau	206	529
3	Kuda	226	558
4	Kambing	34	93
5	Domba	56	136
6	Ayam	3	6
7	Bebek	0,9	2,2

Sumber : Iskandar (2007)

Jenis ternak menghasilkan beban pencemaran yang berbeda, makin besar ternak makin besar rasio beban pencemar yang dihasilkan. Sapi merupakan ternak yang menghasilkan beban pencemar yang terbesar disebabkan sistem pencernaan sapi hanya mencerna 50% selulosa dalam makanannya dan sisanya masih terdapat didalam tinjanya. Tinja sapi yang masih mengandung bagian besar dari bahan organic sehingga menjadi beban bagi lingkungan untuk menguraikannya.

## 2.7 Bahan Pencemar (Polutan)

Bahan pencemar (*polutan*) adalah bahan – bahan yang bersifat asing bagi alam atau bahan yang berasal dari alam itu sendiri yang memasuki suatu ekosistem sehingga mengganggu peruntukan ekosistem itu sendiri. Berdasarkan cara masuknya ke dalam lingkungan bahan pencemar dibedakan menjadi dua kelompok yaitu :

1. Polutan Alamiah yaitu polutan yang memasuki lingkungan (badan air) secara alami, misalnya letusan gunung berapi, tanah longsor, atau banjir.
2. Polutan Antropogenik yaitu polutan yang masuk ke lingkungan (badan air) akibat aktifitas manusia seperti limbah domestik, limbah industry, kegiatan pertambangan, pertanian dan perikanan.

Polutan antropogenik dapat dikendalikan dengan mengendalikan langsung ke sumbernya (aktifitas manusia) sedangkan polutan alamiah sulit dikendalikan

karena berasal dari aktifitas alam dan mempunyai volume yang tinggi (Effendi 2003).

Berdasarkan sifat toksiknya, polutan dibedakan menjadi polutan yang bersifat tak beracun dan polutan yang bersifat beracun. Polutan yang bersifat tak beracun ini hanya akan mengganggu fungsi lingkungan jika jumlahnya berlebihan yang menyebabkan keseimbangan lingkungan terganggu. Sedangkan polutan yang bersifat beracun adalah polutan yang dalam jumlah yang kecil saja dapat mengakibatkan kematian (*lethal*) ataupun terganggu pertumbuhan, tingkah laku, dan karakteristik morfologi makhluk hidup (Car & Neary 2006).

## **2.8 Parameter Kunci Pencemaran Air**

Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, menetapkan 3 parameter fisika, 27 parameter kimia anorganik, 2 parameter mikrobiologi, 2 parameter radioaktivitas, dan 12 parameter kimia organik. Tapi jika ingin dilakukan analisa pada seluruh parameter maka akan menyebabkan ketidakefektifan pada waktu penelitian, terutama waktu analisa laboratorium dan waktu pengambilan sample dilapangan sedangkan belum tentu bahan pencemar tersebut dominan pada objek penelitian yang kita ambil. Parameter pencemar pada objek pencemar tergantung jenis pencemar pada sumber pencemarnya.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air pada lampiran III tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Limbah menyarankan penggunaan parameter kunci seperti bahan organik, hidrocarbon, tar dan solven cukup diwakili oleh parameter BOD (*biological oxigen demand*) dan COD (*chemical oxigen demand*), sedangkan NaOH dan HCl cukup diwakili dengan parameter pH, katalis atau spent catalyst dapat diwakili oleh logam berat, parameter lainnya seperti padatan tersuspensi (*suspended solid*), dan parameter prioritas yang lain seperti ammonia, sianida, dan fenol. Hanya parameter yang penting atau parameter kunci (*key parameters*) yang harus dikendalikan. Penerapan parameter kunci berguna untuk mengurangi biaya pemantauan.

Aktifitas antropogenik berdasarkan pengamatan dari penulis, dimana penulis memang berdomisili pada wilayah tersebut adalah perkebunan, permukiman, industri hasil perkebunan dan penambangan emas di badan sungai dengan menggunakan kapal keruk atau kapal sedot (*dompeng*). Berdasarkan informasi awal tersebut, penulis memilih lima parameter kunci yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu BOD (*biological oxygen demand*) dan COD (*chemical oxygen demand*) untuk mendeteksi sumber pencemar pertanian, perkebunan, permukiman dan industri, dan TSS (*total suspended solid*) aktivitas penambangan, serta parameter pH dan DO (*dissolved oxigen*).

BOD secara tidak langsung menggambarkan jumlah bahan organik, sebab bahan organik yang dapat didekomposisi secara biologis (*biodegradable*) seperti lemak, protein, kanji (*starch*), glukosa, aldehida, ester, dan sebagainya serta hewan dan tumbuhan yang telah mati atau hasil buangan dari limbah domestik dan industri. Jika masuk ke badan air, maka bakteri akan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air untuk proses pembusukan dan dergadasi zat organik tersebut menjadi carbondioksida dan air. COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non-biodegradable*) menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Jika pada perairan terdapat bahan organik yang resisten terhadap degradasi biologis, misalnya selulosa, tannin, lignin, fenol, polisakarida, benzena, dan sebagainya, maka lebih cocok dilakukan pengukuran nilai COD dibandingkan dengan nilai BOD (Effendi 2003).

Keberadaan bahan organik dapat berasal dari alam ataupun dari aktivitas rumah tangga dan industri, misalnya pabrik bubur kertas (*pulp*), pabrik kertas, dan industri makanan. Perairan yang memiliki nilai COD tinggi tidak diinginkan bagi kepentingan perikanan dan pertanian. Nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/liter, sedangkan pada perairan yang tercemar dapat lebih dari 200 mg/liter dan pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/liter (US-EPA 1997)

TSS atau total padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1 µm) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. TSS atau total padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1 µm) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Rahayu et al. 2009).

Sedimentasi atau pengendapan yang akan menjadi masalah tersendiri di bagian hilir sungai. Aktivitas penambangan emas tanpa izin (PETI) yang terdapat hampir di sepanjang Sungai Batanghari bagian tengah hingga bagian hulu yang menggunakan kapal keruk atau kapal penyedot (dompok), besar kemungkinan berpotensi meningkatkan kadar TSS di sungai ini.

## 2.9 Daya Tampung Beban Pencemaran Air

Daya tampung beban pencemaran air adalah kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar (KLH 2003). Besaran beban yang dapat diterima suatu sumber air (Daya Tampung Beban Pencemaran) dapat didefinisikan sebagai berikut (Carrol & Anderson 2009) :

$$\text{DTBP} = \text{BP sesuai peruntukan kelas} - (\text{BP sungai} + \text{BP yang masuk}) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana BP yang masuk bersumber dari beban pencemar sumber pencemar titik (*point sources*) dan sumber pencemar tersebar (*non point sources*). BP sungai adalah beban pencemar yang memang telah ada dalam air dan BP sesuai peruntukan adalah beban pencemar yang dapat diterima sungai berdasarkan tanpa merubah kelas air sungai tersebut.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air, ada tiga metode yang dapat dipergunakan untuk menghitung daya tampung beban pencemaran yaitu:

a. Metode Neraca Massa

Metode neraca massa adalah metode penetapan daya tampung beban pencemaran air dengan menggunakan penghitungan neraca massa komponen-komponen pencemaran. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi rata-rata aliran hilir (*down stream*) yang berasal dari sumber pencemar titik (*point sources*) dan sumber pencemar tersebar (*non point sources*). Perhitungan ini dapat dipergunakan untuk menentukan persentase perubahan laju alir atau beban polutan.

Adapun formula dari pada metode neraca massa ini :

$$CR = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i} = \frac{\sum M_i}{\sum Q_i} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana

CR : konsentrasi rata-rata konstituen untuk aliran gabungan

C<sub>i</sub> : konsentrasi konstituen pada aliran ke-i

Q<sub>i</sub> : laju alir aliran ke-i

M<sub>i</sub> : massa konstituen pada aliran ke-i

Metode neraca massa ini dapat juga digunakan untuk menentukan pengaruh erosi terhadap kualitas air selama fase kontruksi suatu proyek dan dapat digunakan pada suatu segmen aliran, suatu danau, atau suatu samudera. Tetapi metode ini hanya dapat diterapkan pada suatu parameter yang tidak dapat mengalami perubahan (terdegradasi, tidak mengalami pengendapan, tidak hilang karena penguapan, atau reaksi lainnya) selama proses pencampuran misalnya garam-garam. Sedangkan penggunaan neraca massa untuk parameter BOD, DO, dan NH<sub>3</sub>N hanya dapat digunakan sebagai pendekatan saja.

b. Metode Streeter Phelps

Metode Streeter Phelps adalah metode untuk penetapan daya tampung beban pencemaran air dengan perhitungan matematis neraca massa suatu perairan dengan mengasumsikan satu dimensi dan kondisi tunak. Permodelan ini terbatas pada fenomena proses pengurangan oksigen terlarut karena aktivitas bakteri

dalam mendegradasi zat organik yang ada dalam air dan proses peningkatan oksigen terlarut karena proses aerasi yang disebabkan oleh turbulensi aliran.

$$\text{Neraca massa oksigen} = \text{aliran masuk} - \text{aliran keluar} + \text{deoksigenasi} + \text{reoksigenasi} \dots \dots \dots (2.8)$$

Proses pengurangan oksigen (*deoksigenasi*) adalah pengurangan oksigen yang terlarut dalam air perairan yang diakibatkan oleh aktivitas bakteri mendegradasi zat organik. Laju oksidasi biokimia ini ditentukan oleh konsentrasi senyawa organik yang terkandung didalamnya (Puwanto 2004)

$$\frac{dL}{dt} = -KLo \dots \dots \dots (2.9)$$

$$Lt = Lo \cdot e^{(-Kt)} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$rd = -K \cdot Lt \dots \dots \dots (2.11)$$

$$rd = -K \cdot Lo \cdot e^{(-Kt)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

- $r_d$  = laju deoksigenasi
- $L_t$  = BOD pada hari ke t
- $L_o$  = BOD awal senyawa organik
- $K$  = konstanta reaksi orde 1 hari
- $t$  = waktu dalam hari

Proses penambahan oksigen (*reoksigenasi*) didalam air akibat turbulensi aliran yang menyebabkan perpindahan oksigen dari udara ke air yang disebut dengan proses reaerasi. Laju reaerasi sebagai berikut:

$$r_r = K'2(C_2 - C) \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

- $r_r$  = laju reaerasi
- $K'$  = konstanta reaerasi
- $C_s$  = konsentrasi oksigen terlarut jenuh
- $C$  = konsentrasi oksigen terlarut

Daya tampung pada metode neraca massa maupun Streeter Phelps adalah selisih konsentrasi pada baku mutu terhadap kualitas air, selisih tersebut merupakan kelebihan beban ataupun beban yang masih dapat diterima sungai.

$$C_{dt} = C_{bm} - C_i \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

$C_{dt}$  = konsentrasi yang masih dapat diterima atau kelebihan beban

$C_{bm}$  = konsentrasi baku mutu

$C_i$  = konsentrasi hasil pengukuran

$$BPDT = C_{dt} \times Q_t \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

BPDT = Daya tampung beban pencemar

$Q_t$  = Debit beban pencemar

Dari kedua metode diatas tersebut, hanya bisa menghitung pada suatu titik pengukuran saja tetapi tidak dapat menggambarkan daya tampung beban pencemaran sepanjang aliran sungai, sebab sungai adalah mengalir dan bersifat dinamis. Untuk menghitung beban pencemaran pada sepanjang aliran dapat digunakan metode Qual2e

### c. Metode QUAL2Kw

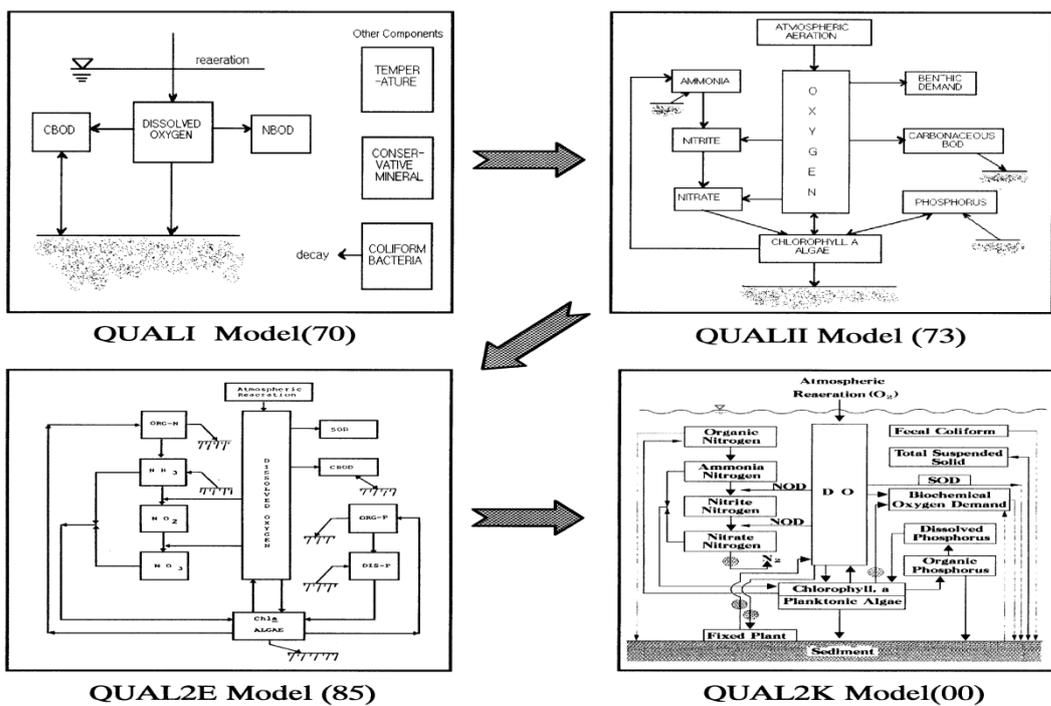
Perhitungan beban cemar dikembangkan oleh Streeter-Phelp pada tahun 1925 dimana penentuan beban pencemaran air didasarkan pada kurva defisit oksigen terlarut dengan anggapan bahwa kebutuhan oksigen di air diperlukan untuk kehidupan perairan sehingga kebutuhan oksigen di air dapat dipergunakan untuk mengukur terjadinya pencemaran. Pada Streeter-Phelp hanya terbatas pada dua fenomena proses pengurangan oksigen terlarut oleh bakteri, dan proses kelarutan oksigen dalam air melalui proses aerasi.

Pada tahun 1970 dikembangkan model Streeter-Phelp dikembangkan oleh Texas Water Develoment Board yang disebut paket software DOSAG 1. program DOSAG 1 kembali dikembangkan oleh Texas Water Develoment Board menjadi Qual 1 yang digunakan untuk menghitung DO, BOD, dan temperatur.

Qual 1 oleh US-EPA (United Stated Environmental Protection Agency) dikembangkan menjadi paket program Qual 2 yang lebih mampu melaksanakan simulasi pada badan air yang lebih kompleks dan mampu untuk melaksanakan simulasi pada badan air yang lebih kompleks dengan mempertimbangkan

interaksi dengan lingkungan yang berhubungan dengan fotosintesis, simulasi berbagai macam nutrient dan keterkaitannya dengan oksigen terlarut, dan dapat dioperasikan pada aliran tunak maupun dinamis. Paket program ini dalam windows 98 yang disebut Qual2e yang dikembangkan oleh Brown and Barnwell 1987.

Permodelan Qual2e untuk menyederhanakan kejadian pada suatu perairan agar lebih mudah memprediksi atau mengetahui kelakuan yang terjadi. Pada Qual2e dapat diprediksi kondisi BOD dan DO sepanjang aliran, sehingga dapat diketahui beban diperkenankan yang dapat masuk ke aliran.



Sumber : Park (2002)

Gambar 2-2 Perkembangan Model QUAL2Kw

Manfaat menggunakan Qual2e dalam menghitung daya tampung suatu aliran sungai antara lain :

1. Mengetahui karakteristik sungai yang akan dimodelkan dengan membandingkan data yang telah diambil langsung dari aliran sungai tersebut;
2. Mengetahui kelakuan suatu aliran sungai bila mendapat penambahan beban pencemar baik yang terdeteksi maupun yang tidak terdeteksi;

3. Dapat memperkirakan beban pencemaran maksimal yang dapat dikeluarkan oleh suatu kegiatan agar beban tersebut tidak menimbulkan degradasi kualitas suatu perairan;

Seiring dengan perkembangan pengetahuan informatika, Qual2e disempurnakan menjadi QUAL2Kw, dimana bahasa pemrogramannya menggunakan Visual Basic Application (VBA) yang dapat dijalankan dengan program Excel (Chapra & Pelletier 2008). Ada beberapa kemiripan antara Qual2e dengan QUAL2Kw antara lain :

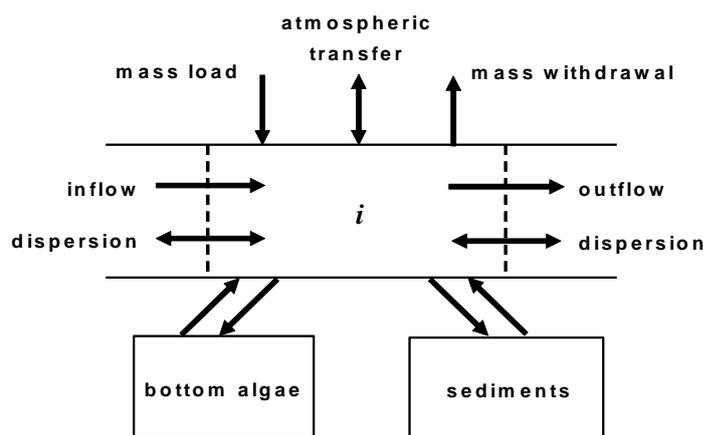
1. Satu dimensi, aliran dianggap bercampur dengan sempurna baik lateral vertical maupun lateral;
2. Neraca panas disimulasikan dengan fungsi meteorology pada satu skala waktu;
3. Variable kualitas air disimulasikan pada satu skala waktu;
4. Besar beban pencemar *point sources* dan *non point sources* dapat disimulasikan

Kerangka QUAL2Kw mengandung unsur-unsur baru antara lain :

1. Software environment and interface, QUAL2Kw diimplementasikan pada lingkungan Microsoft Windows, perhitungan dengan Fortran 90, Exel digunakan sebagai graphic user interface, semua operasi interface program dalam Microsoft Office Macro Language: Visual Basic Application (VBA).
2. Pada Qual2e membagi sistem sungai pada penggal-penggal dengan panjang yang sama, pada QUAL2Kw penggalan sungai dapat berbeda satu sama lainnya.
3. Pada QUAL2Kw menggunakan dua bentuk CBOD untuk mewakili organik karbon dalam bentuk CBOD yang mengalami oksidasi lambat, dan CBOD yang mengalami oksidasi cepat.
4. QUAL2Kw mengakomodasi kekurangan oksigen dalam air dengan mengurangi reaksi oksidasi pada tingkat oksigen yang rendah.
5. Interaksi sedimen dengan air, perubahan oksigen terlarut pada air disimulasikan dalam sedimen dan unsur hara pada air.

6. Bottom algae, mensimulasikan pengaruh alga terhadap oksigen terlarut dalam air.
7. Pengurangan cahaya ke dasar dihitung sebagai fungsi alga, detritus, dan padatan anorganik.
8. pH sungai dihitung berdasarkan alkalinitas dan jumlah karbon anorganik.
9. Pengurangan pathogen didalam air ditentukan sebagai fungsi temperature, cahaya dan pencampuran.
10. Efek hidrolika bendungan dan air terjun dan perubahan gas dimasukkan dalam perhitungan model.

Model QUAL2Kw mensimulasikan perpindahan dan perubahan sejumlah komponen kualitas air seperti temperatur, *carbonaceous biochemical oxygen demand* (CBOD), oksigen terlarut (DO), *phytoplankton* dan berbagai bentuk *nutrient phosphorus* dan *nitrogen*. Aplikasi ini juga dapat mensimulasi beberapa komponen lain yang tidak secara tipikal dimasukkan di dalam fasilitas software secara umum. Secara khusus, model ini mensimulasi pH, alkalinitas, padatan tersuspensi (*suspended solid*), bakteri patogen, dan alga dasar. Model dapat juga mensimulasikan pengaruh penambahan polutan terhadap kualitas air sungai. Pengguna dapat secara fleksibel memilih kombinasi parameter untuk optimasi dan menspesifikasi fungsi yang tepat untuk hasil terbaik (Chapra & Pelletier 2008).



Sumber : Chapra & Pelletier (2008)

Gambar 2-3 Diagram Neraca Massa pad Kolom Air

Pemodelan QUAL2Kw menggunakan persamaan umum neraca massa untuk memperkirakan konsentrasi pada titik ( $c_i$ ) pada kolom air (di setiap penggal  $i$ ) (Chapra & Pelletier 2008) Gambar 2.2 mengilustrasikan faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi pada titik ( $c_i$ ) pada penggal ( $i$ ). Neraca Massa untuk pemodelan algae dasar (*bottom algae*), sebagai berikut:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \dots (2.16)$$

Sumber : Chapra & Pelletier (2008)

Dimana :

$Q_i$  = debit air pada penggal  $i$  (L/day),

$ab$  = abstrasi,

$V_i$  = volume (L),

$W_i$  = pembebanan eksternal dari suatu titik terhadap penggal  $i$  [mg/hari],

$S_i$  = penambahan dan pengurangan konsentrasi pada titik ( $c_i$ ) karena reaksi-reaksi dan mekanisme transfer massa [mg/L/hari],

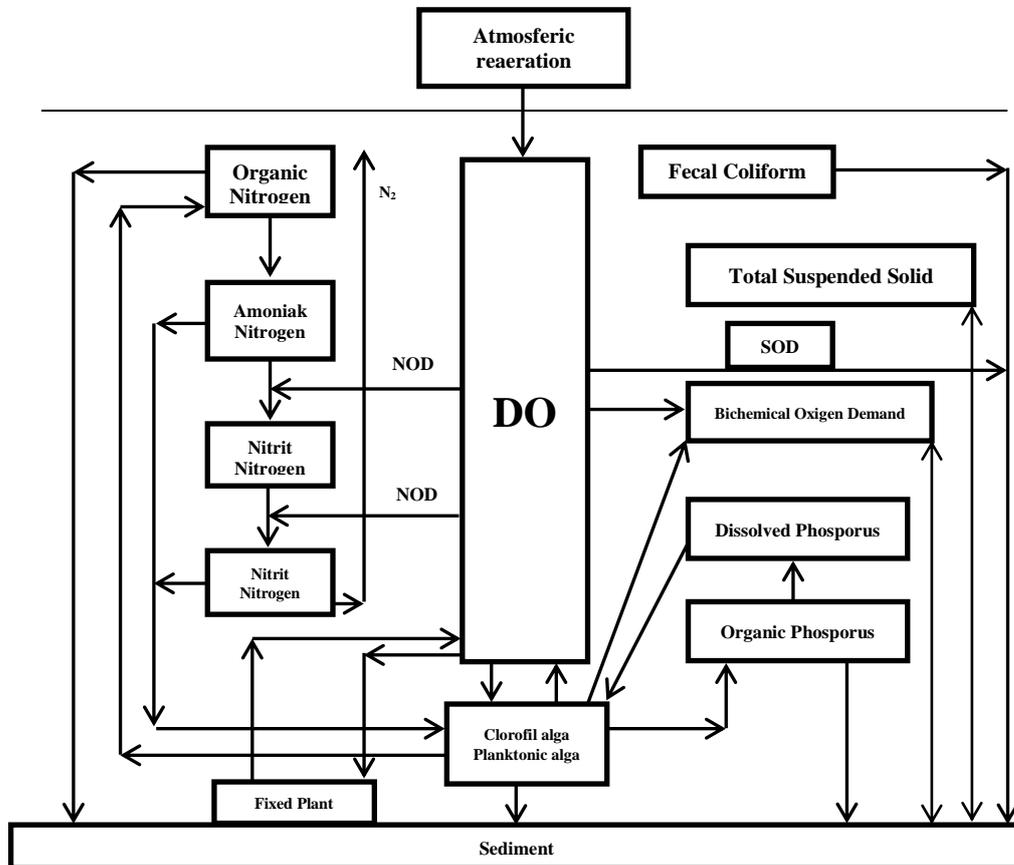
$E_i$  = koefisien bulk dispersion antar penggal (L/hari),

$C_i$  = konsentrasi kualitas air pada titik ( $c_i$ ) (mg/L),  $t$  = waktu dalam hari.

Model ini dapat juga digunakan untuk aliran yang unsteady dimana suatu beban pencemar dapat masuk secara batch (tiba-tiba) dan kemudian suatu pencemar tersebut tercampur sempurna dengan menitikberatkan pada perpindahan secara adveksi dan dispersi searah dengan arus. Permodelan QUAL2Kw ini dapat juga mensimulasikan neraca oksigen, neraca nitrogen dan neraca pospor. Model ini cocok untuk suatu aliran sungai yang menerima beban dari daerah aliran sungainya tetapi model ini tidak cocok untuk aliran yang menetap seperti rawa atau danau yang cenderung konsentrasinya memiliki laju yang tetap ( $dc/dt = 0$ ).

Perubahan internal suatu zat pada suatu aliran adalah merupakan reaksi biokimia yang menggambarkan transformasi (alih bentuk) zat dari bentuk satu ke bentuk yang lain, misal dari nitrat organik menjadi nitrat, proses nitrifikasi dari amoniak menjadi nitrit kemudian nitrat dan sebaliknya, proses peluruhan BOD, proses peluruhan phospor organik, interaksi alga terhadap phospor dan nitrit dari

proses biologi yang terjadi di perairan baik deoksigenasi maupun aerasi. Model transfer nutrisi pada QUAL2Kw ini digambarkan pada gambar berikut ini.



Sumber : Chapra & Pelletier (2008)

Gambar 2-4 Transfer Nutrisi Model QUAL2Kw

## 2.10 Pengendalian Pencemaran Air

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air, pengendalian upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air dan serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air peruntukannya.

Menurut Brahmana et al. (2002) usaha pengendalian dan pencegahan pencemaran lingkungan dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pemanfaatan teknologi pencegahan dan penanggulangan pencemaran, pendekatan hukum dan kelembagaan, pendekatan sosial ekonomi dan budaya dengan penerapan pelaksanaan pengelolaan lingkungan.

Teknologi pencegahan pencemaran merupakan suatu teknologi yang diterapkan pada suatu proses kegiatan untuk mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan dari kegiatan tersebut. Teknologi tersebut dapat berupa teknologi dalam proses kegiatan dan teknologi yang mengolah sisa dari kegiatan (limbah). Selain mengolah limbah, memanfaatkan kembali limbah yang dihasilkan merupakan cara yang efektif untuk mengurangi pencemaran, limbah dimanfaatkan menjadi bahan baku suatu produk yang mempunyai nilai ekonomi atau limbah dimanfaatkan sebagai sumber energy, pemanfaatan limbah adalah memperpanjang daur hidup dan manfaat suatu materi. Penerapan suatu sistem atau teknologi pada suatu proses yang dapat mencegah atau memperkecil terjadinya limbah merupakan cara yang sangat efektif dalam mengurangi terjadinya pencemaran air. Selain itu cara ini juga menimbulkan efisiensi dalam suatu proses sehingga menimbulkan implikasi ekonomi bagi kegiatan tersebut.

Dari sisi regulator, penetapan suatu standar dalam pengendalian pencemaran merupakan salah satu solusi yang cukup efektif. Standar memberikan arahan bagi pihak-pihak pelaku kegiatan untuk melakukan pengelolaan lingkungan sehingga dapat meminimalkan beban yang masuk ke lingkungan yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan khususnya lingkungan perairan. Standar-standar tersebut dapat berupa baku mutu suatu air limbah (*effluent*), baku mutu suatu perairan (*stream*), dan standar pengelolaan lingkungan suatu kegiatan.

Perencanaan tata ruang wilayah memberikan peranan yang sangat penting dalam upaya pengendalian pencemaran, dalam perencanaan tersebut harus mempertimbangkan daya dukung dan daya tampung lingkungan, jika daya dukung dan daya tampung lingkungan terlampaui oleh kegiatan didalamnya maka kemampuan lingkungan untuk mengasimilasi beban pencemar yang masuk pada lingkungan akan berkurang dan akan menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan.

Fungsi pelaksanaan pengelolaan lingkungan yang dilakukan oleh kegiatan yang ada pada suatu wilayah memberikan peranan yang cukup besar dalam upaya pengendalian pencemaran, pelaksanaan dari stakeholder terkait untuk melakukan

pengelolaan sangat bergantung dari pengendalian dan pengawasan dari pemerintah selaku regulator dalam pengelolaan lingkungan dan kesadaran dari stakeholder pelaku kegiatan untuk melaksanakannya.

Ruang lingkup pengendalian pencemaran air pada Permen LH No 1 Tahun 2010 adalah meliputi inventarisasi sumber pencemar, penetapan daya tampung beban pencemaran air, penetapan kebijakan pengendalian pencemaran air yang dapat berupa perizinan, pemantauan kualitas air, dan pengawasan pelaksanaan pengendalian pencemaran air oleh suatu kegiatan, dan penyediaan data dan informasi berkaitan dengan pengendalian

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kegiatan pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dilaksanakan secara terpadu dengan menggunakan pendekatan ekosistem. Keterpaduan tersebut dilaksanakan melalui tahapan perencanaan, implementasi, pengamatan dan evaluasi.

### **2.11 Analisis SWOT**

Analisis SWOT adalah instrument perencanaan strategis yang klasik dengan menggunakan kerangka kerja kekuatan dan kelemahan sebagai faktor internal, peluang dan ancaman sebagai faktor eksternal. Analisis SWOT didasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan dan peluang namun secara bersamaan meminimalkan kelemahan dan ancaman. Menurut Rangkuti (1997) analisis faktor-faktor yang strategis berupa kekuatan, kelemahan, peluang dan ancaman dilakukan pada gambaran kondisi saat ini.

Analisis SWOT terdiri dari empat faktor, yaitu:

1. Strength (kekuatan)

Kekuatan dan potensi pada suatu organisasi yang dimanfaatkan untuk mencapai tujuan;

2. Kelemahan (weakness)

Kelemahan atau masalah yang dihadapi pada suatu organisasi yang dapat menghambat pengembangan potensi yang dimiliki;

3. Peluang (opportunities)

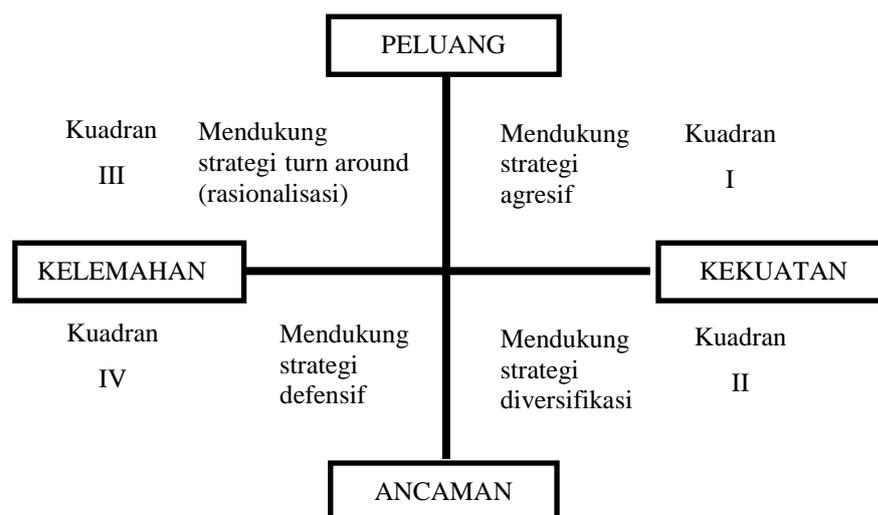
Peluang atau kesempatan dari luar yang dapat mendukung bagi mencapai tujuan;

#### 4. Ancaman (threats)

Ancaman adalah hambatan dari luar yang dapat menghambat pengembangan potensi atau pencapaian tujuan;

Faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi faktor internal (IFAS) dan faktor eksternal (EFAS). Faktor internal adalah faktor-faktor yang berasal dari dalam organisasi itu sendiri (kekuatan dan kelemahan), sedangkan faktor eksternal adalah faktor-faktor yang berasal dari luar organisasi (peluang dan ancaman).

Pada faktor-faktor tersebut diberikan identifikasi variabel-variabel yang masuk dalam IFAS (kekuatan dan kelemahan) dan faktor EFAS (peluang dan ancaman) kemudian diberikan pembobotan menggunakan skala likert dengan nilai pembobotan sangat baik (5), baik (4), cukup baik (3), kurang baik (2), tidak baik (1). Kegiatan pembobotan merupakan upaya untuk menentukan besar kecilnya tingkat kekuatan, kelemahan, dan peluang dan ancaman. Perbandingan kekuatan dan kelemahan sebagai faktor internal, peluang dan ancaman sebagai faktor eksternal yang akan menentukan posisi strategi kebijakan berada pada kuadran mana.



Gambar 2-5 Kuadran SWOT

Hasil analisis pada kuadran SWOT memiliki interpretasi sebagai berikut:

- Kuadran I : hasil penjumlahan skala linkert kekuatan > kelemahan, dan peluang > ancaman. Menunjukkan situasi kekuatan dan peluang masing-masing indikator dapat mendukung kebijakan yang ada (progresif);
- Kuadran II : hasil penjumlahan pada skala linkert kekuatan > kelemahan, dan peluang < ancaman. Kekuatan memiliki potensi menghadapi ancaman yang tidak menguntungkan, strategi yang diusulkan adalah diversifikasi strategi;
- Kuadran III : hasil penjumlahan pada skala linkert kekuatan < kelemahan, dan peluang > ancaman. Menunjukkan bahwa strategi yang selama ini tidak efektif, sehingga diperlukan inovasi dalam strategi dengan meminimalkan kelemahan yang dimiliki dan memanfaatkan peluang yang ada (rasionalisasi);
- Kuadran VI : hasil penjumlahan pada skala linkert kekuatan < kelemahan, dan peluang < ancaman. Menunjukkan kondisi tidak menguntungkan rekomendasi strategi bertahan dengan sambil terus memperbaiki kelemahan yang ada dengan menghindari ancaman (defensive).

Penyusunan strategi dilakukan dengan analisis lebih lanjut menggunakan matrik SWOT sebagai berikut :

Tabel 2-5 Matrik SWOT

	Internal	Strength	Weakness
Eksternal			
Opportunities	Strategi SO Menggunakan kekuatan untuk memanfaatkan peluang SO1, SO2, SO3, SO <sub>n</sub>		Strategi WO Mengurangi kelemahan dan memanfaatkan peluang WO1, WO2, WO3, WO <sub>n</sub>
Threats	Strategi ST Menggunakan kekuatan untuk menghindari ancaman ST1, ST2, ST3, ST <sub>n</sub>		Strategi WT Meminimalkan kelemahan untuk menghindari ancaman WT1, WT2, WT3, WT <sub>n</sub>

Sumber : Rangkuti (1997)

Kelebihan dari penggunaan metode analisis SWOT adalah dapat mengembangkan dan mengadopsi strategi yang disesuaikan dengan kecocokan faktor internal dan eksternal. Sedangkan kelemahan SWOT adalah lemahnya dalam penilaian secara konverhensif sehingga pernyataan-pernyataan seringkali

bersifat global dan ringkas, tidak memiliki sarana analitik untuk menentukan tingkat kepentingan atau urgensi dari faktor atau menilai alternative keputusan yang berkaitan dengan faktor tersebut, penilaian bersifat subjektif yang bergantung terhadap kemampuan partisipan yang terlibat dalam proses tersebut. Hasil akhir analisis SWOT hanya berupa penilaian kualitatif yang tidak lengkap dari faktor internal dan faktor eksternal (Kangas et al. 2001).

Dalam analisis SWOT untuk pengelolaan Sungai Batanghari di Kabupaten Dharmasraya digunakan indikator-indikator sebagai penilaian untuk mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman dalam upaya pengendalian pencemaran air saat ini di Sungai Batanghari tersebut. Indikator-indikator tersebut ditentukan berdasarkan unsur-unsur yang mempengaruhi tingkat pencemaran sungai dan prinsip-prinsip pengendalian pencemaran air dalam pengelolaan Sungai Batanghari. Unsur-unsur yang digunakan dalam analisis tersebut antara lain (Yualiastuti 2011) :

1. Kondisi fisik sungai, merupakan unsur yang menjelaskan kondisi lingkungan sungai saat ini dengan masalah-masalah yang dihadapi dan potensi yang dihadapi.
2. Upaya pengendalian pencemaran air, merupakan unsur yang menjelaskan usaha-usaha pengendalian pencemaran air yang telah dilakukan oleh pemerintah dan masyarakat.
3. Sikap dan perilaku masyarakat, merupakan unsur yang menjelaskan sikap dan perilaku masyarakat setempat dalam upaya pengendalian pencemaran air.
4. Peran pemerintah dalam upaya pengendalian pencemaran air, merupakan unsur yang menjelaskan kebijakan pemerintah pusat, pemerintah provinsi maupun pemerintah kabupaten/kota atau instansi terkait pengendalian pencemaran air baik faktor pendukung maupun faktor penghambatnya.

Unsur-unsur tersebut diharapkan dapat menjadi dasar penilaian untuk menentukan strategi pengelolaan Sungai Batanghari dalam pengendalian pencemaran air. Masing-masing unsur tersebut akan diberikan indikator-indikator pengendalian pencemaran air berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup

Nomor 1 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air serta variabel-variabel yang dianalisis dalam penelitian ini.

Tabel 2-6 Indikator Pengendalian Pencemaran Air pada Permen LH 1 / 2010

Unsur	Indikator	
	1	Pencemaran air
Perlakuan pengendalian pencemaran air	2	Pemantauan kualitas air
	3	Penetapan daya tampung beban pencemaran air
	4	Penetapan baku mutu air limbah
	5	Pembuatan IPAL
	6	Inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar
Sikap dan perilaku masyarakat	7	Pembuangan limbah industri
	8	Pembuangan limbah pemukiman
	9	Pembuangan limbah peternakan
	10	Kesadaran menaati aturan yang berlaku
	11	Pengetahuan dalam pengelolaan limbah
Peran pemerintah	12	Perizinan pembuangan air limbah ke sumber air
	13	Penyediaan informasi
	14	Penetapan kebijakan pengendalian pencemaran air
	15	Pembinaan dan pengawasan
	16	Koordinasi antar instansi yang berkepentingan dalam pengendalian pencemaran air
	17	Penerapan konsep partisipasi masyarakat dalam pelaksanaan kegiatan pengendalian pencemaran air

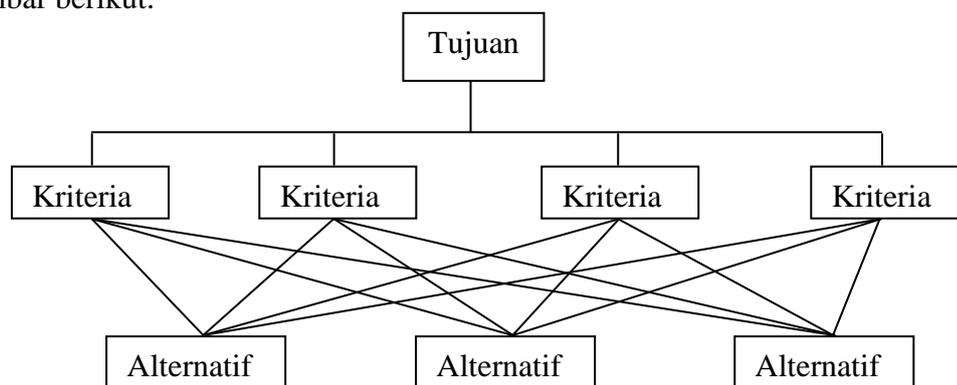
Sumber : Permen LH No 1 Tahun 2010 yang diolah penulis

## 2.12 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Proses hirarki analitik (*analytical hierarchy process*) adalah adalah sebuah kerangka untuk mengambil keputusan dengan efektif pada suatu persoalan yang kompleks dengan menyederhanakan dan mempercepat proses pengambilan keputusan melalui memecahkan persoalan tersebut kedalam bagian-bagiannya, kemudian menata bagian atau variabel ini dalam suatu susunan hirarki, memberi nilai numerik pada pertimbangan subjektif tentang pentingnya tiap variabel dan mensintesis berbagai pertimbangan ini untuk menetapkan variabel yang mana yang memiliki prioritas paling tinggi dalam menyelesaikan masalah tersebut. Metode ini membantu memecahkan persoalan yang kompleks dengan menstruktur suatu hirarki kriteria, pihak yang berkepentingan, hasil dan dengan menarik

berbagai pertimbangan guna mengembangkan bobot atau prioritas. Metode ini juga menggabungkan kekuatan dari perasaan dan logika yang bersangkutan pada berbagai persoalan, lalu mensintesis berbagai pertimbangan yang beragam menjadi hasil yang cocok dengan perkiraan kita secara intuitif sebagaimana yang dipresentasikan pada pertimbangan yang telah dibuat (Saaty 1986).

Hirarki dalam pengambilan keputusan dengan metode ini terlihat pada gambar berikut.



Sumber : Saaty (1986)

Gambar 2-6 Susunan Hierarki pada AHP

Menurut Saaty (1986), kelebihan-kelebihan dalam AHP adalah menyusun suatu alternatif penyelesaian dari suatu permasalahan antara lain sebagai berikut :

1. Kesatuan (*unity*): menjadikan suatu permasalahan yang kompleks dan tidak terstruktur menjadi sebuah model yang mudah dipahami.
2. Kompleksitas (*complexity*): konsep pemecahan masalah yang kompleks melalui pendekatan sistem dan pengintegrasian secara deduktif.
3. Saling ketergantungan (*inter dependence*): dapat digunakan pada elemen-elemen sistem yang saling bebas dan tidak memerlukan hubungan linier.
4. Struktur Hierarki (*hierarchy structuring*): mengelompokkan elemen sistem ke level-level yang berbeda dari masing-masing level berisi elemen yang serupa.
5. Pengukuran (*measurement*): menyediakan skala pengukuran dan metode untuk mendapatkan prioritas.
6. Konsistensi (*consistency*): mempertimbangkan konsistensi logis dalam penilaian yang digunakan untuk menentukan prioritas.

Adapun kelemahan-kelemahan metode AHP adalah sebagai berikut :

1. Ketergantungan model AHP pada input utamanya yang merupakan persepsi dari para ahli sehingga adanya unsur pelibatan subyektifitas sang ahli. Model menjadi tidak berarti jika ahli tersebut memberikan penilaian yang keliru.
2. Tidak ada batas kepercayaan dari kebenaran model yang terbentuk karena metode AHP ini hanya merupakan metode matematis tanpa ada pengujian secara statistik.

Ada tiga prinsip dalam memecahkan persoalan dengan AHP, yaitu prinsip menyusun hirarki (*decomposition*), prinsip menentukan prioritas (*comparative judgement*), dan prinsip konsistensi logis (*logical consistency*).

a. *Decomposition*

Setelah persoalan didefinisikan maka perlu dilakukan *decomposition*, yaitu memecah persoalan yang utuh menjadi unsur-unsurnya. Jika ingin mendapatkan hasil yang akurat, pemecahan juga dilakukan terhadap unsur-unsurnya sehingga didapatkan beberapa tingkatan dari persoalan tadi. Karena alasan ini maka proses analisis ini dinamai hirarki (Hierarchy). Pembuatan hirarki tersebut tidak memerlukan pedoman yang pasti berapa banyak hirarki tersebut dibuat, tergantung dari pengambil keputusanlah yang menentukan dengan memperhatikan keuntungan dan kerugian yang diperoleh jika keadaan tersebut diperinci lebih lanjut. Ada dua jenis hirarki, yaitu hirarki lengkap dan hirarki tidak lengkap. Dalam hirarki lengkap, semua elemen pada semua tingkat memiliki semua elemen yang ada pada tingkat berikutnya. Jika tidak demikian maka dinamakan hirarki tidak lengkap.

Hirarki yang dimaksud adalah hirarki dari permasalahan yang akan dipecahkan untuk mempertimbangkan kriteria-kriteria atau komponen-komponen yang mendukung pencapaian tujuan. Dalam memilih kriteria-kriteria pada setiap masalah pengambilan keputusan perlu memperhatikan kriteria-kriteria sebagai berikut:

### 1. Lengkap

Kriteria harus lengkap sehingga mencakup semua aspek yang penting, yang digunakan dalam mengambil keputusan untuk pencapaian tujuan.

### 2. Operasional

Operasional dalam artian bahwa setiap kriteria ini harus mempunyai arti bagi pengambil keputusan, sehingga benar-benar dapat menghayati terhadap alternatif yang ada, disamping terhadap sarana untuk membantu penjelasan alat untuk berkomunikasi.

### 3. Tidak berlebihan

Menghindari adanya kriteria yang pada dasarnya mengandung pengertian yang sama.

### 4. Minimum

Diusahakan agar jumlah kriteria seminimal mungkin untuk mempermudah pemahaman terhadap persoalan, serta menyederhanakan persoalan dalam analisis.

#### *b. Comparatif Judgement*

Prinsip ini berarti membuat penilaian tentang kepentingan relatif dua elemen pada suatu tingkat tertentu dalam kaitannya dengan tingkat yang diatasnya. Penilaian ini merupakan inti dari AHP, karena akan berpengaruh terhadap prioritas elemen-elemen. Hasil dari penilaian ini akan ditempatkan dalam bentuk matriks yang dinamakan matriks pairwise comparison. Dalam melakukan penilaian terhadap elemen-elemen yang diperbandingkan terdapat tahapan-tahapan, yakni:

1. Elemen mana yang lebih (penting/disukai/berpengaruh/lainnya)
2. Berapa kali sering (penting/disukai/berpengaruh/lainnya)

#### *c. Logical Consistency*

Konsistensi memiliki dua makna, pertama adalah objek-objek yang serupa dapat dikelompokkan sesuai dengan keseragaman dan relevansi. Arti kedua adalah menyangkut tingkat hubungan antara objek-objek yang didasarkan pada kriteria tertentu.

### **2.13 Analisis A'WOT**

Metode A'WOT ini merupakan integrasi antara AHP dan SWOT, AHP berfungsi memberikan bobot terhadap komponen-komponen dalam SWOT, hasil analisis SWOT tersebut mempunyai peringkat urgenitas terhadap faktor-faktornya sehingga alternative yang dihasilkan dari analisis tersebut mempunyai tingkat skala prioritas untuk diaplikasikan (Kangas et al. 2001).

Mneurut Kurttila et al (2000) menyatukan AHP dalam kerangka SWOT adalah untuk mengevaluasi secara sistematis faktor-faktor SWOT sehingga terlihat intensitas ketepatan strategi dalam faktor-faktor SWOT tersebut. Nilai dari analisis SWOT dapat diperoleh dengan melakukan perbandingan berpasangan antara faktor-faktor SWOT. Setelah melakukan perbandingan, informasi kuantitatif yang berguna dapat diperoleh tentang situasi pengambilan keputusan. Atas dasar perbandingan faktor SWOT tersebut dianalisis, misalnya, apakah ada kelemahan tertentu yang membutuhkan sebagian besar perhatian, atau jika faktor ancaman melebihi gabungan faktor peluang (Kurttila et al. 2000). Selain itu, dengan menggunakan A'WOT memungkinkan alternatif pilihan pada faktor-faktor SWOT untuk dievaluasi (Pesonen et al. 2000). Ketika pentingnya faktor SWOT yang berbeda juga telah ditentukan, alternatif pilihan dapat diprioritaskan sehubungan dengan situasi pilihan strategis secara keseluruhan.