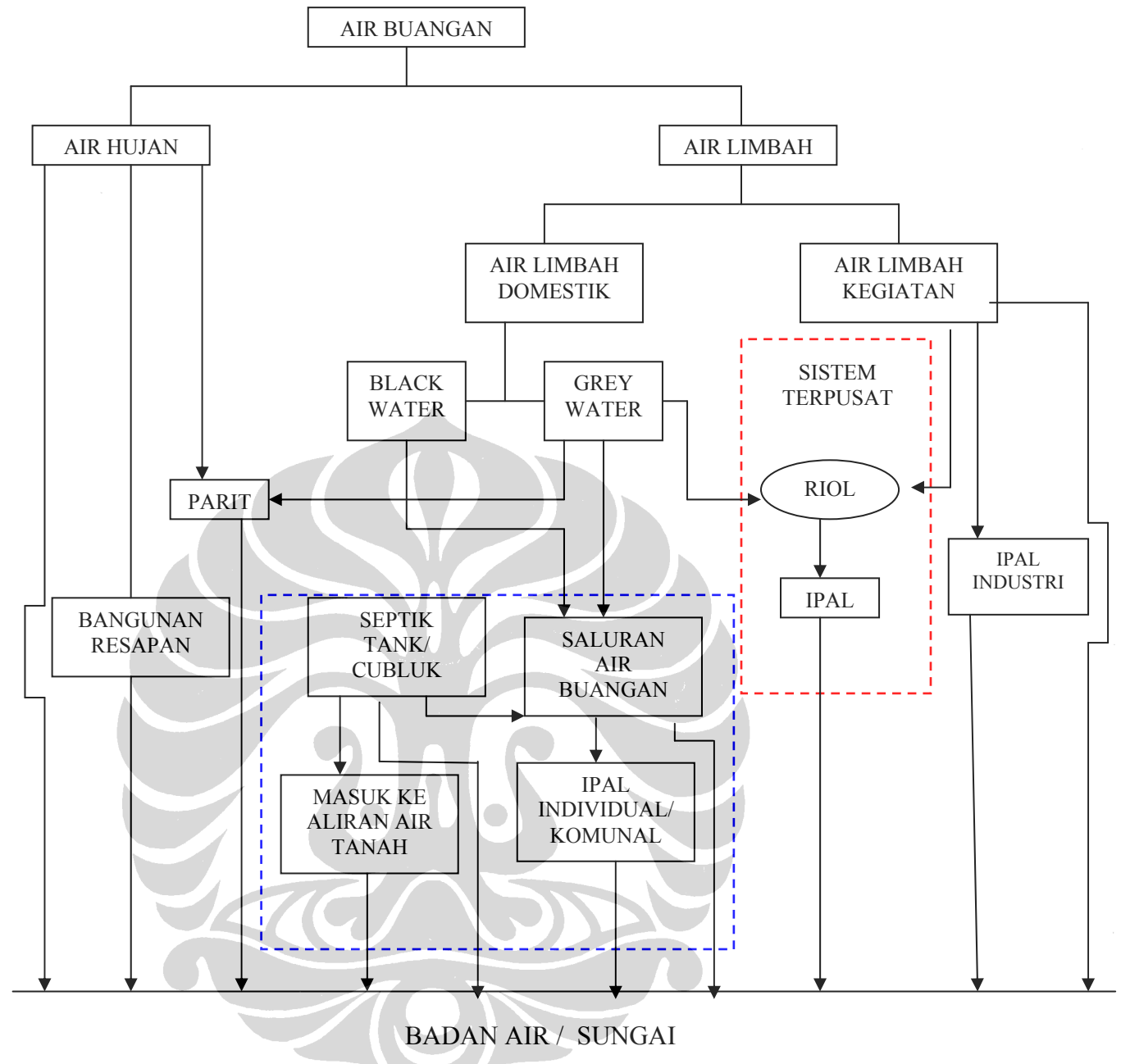


## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Sungai merupakan air permukaan yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh manusia. Secara umum pemanfaatan sungai selain sebagai sumber pengambilan air untuk keperluan aktivitas makhluk hidup tetapi juga sebagai media pembuangan limbah cair dan beberapa jenis limbah padat dari hasil kegiatan makhluk hidup khususnya manusia dan sebagai media penampungan air hujan dan air larian. Terkait dengan pemanfaatan air tersebut, maka kualitas dan kuantitas air sungai akan selalu berubah.

Perubahan kualitas dan kuantitas air sungai sangat dipengaruhi oleh pemanfaatan sungai dimana pemanfaatan sungai tidak terlepas dari manusia atau penduduk dan pertumbuhannya. Pertumbuhan penduduk sejalan dengan peningkatan jumlah dan keanekaragaman kegiatan sehingga pada akhirnya meningkatkan penggunaan air bersih. Peningkatan penggunaan air bersih akan meningkatkan kapasitas air buangan yang dihasilkan dengan kandungan dan kualitas yang variatif. Selain itu masih terdapat pembuangan sampah ke sungai sehingga mempengaruhi kualitas air tersebut. Air buangan akan dialirkan melalui sistem drainase dan pada akhirnya akan masuk ke badan air atau sungai. Kualitas dan kapasitas air buangan akan mempengaruhi kualitas dan kuantitas sungai. Air buangan dan air hujan akan teralirkan melalui sistem drainase dan sistem sewerage, baik secara alami maupun buatan. Bagan alir sistem penyaluran air buangan dan drainase perkotaan dapat dilihat pada gambar 2.1.



KET. GAMBAR

- Sistem Onsite
- Sistem Offsite

Gambar 2.1 Uraian bagan alir penyaluran / pembuangan air buangan

Sungai memiliki kapasitas untuk menerima beban air buangan. Kapasitas ini memiliki batasan yang disebut dengan daya tampung. Beban air buangan yang melebihi daya tampung sungai akan menurunkan kualitas air berakibat ekosistem air tidak dapat melakukan mekanismenya secara sempurna sehingga proses purifikasi alami air pun tidak dapat terjadi secara sempurna dan pada akhirnya kualitas air menjadi rendah. Purifikasi alami air yang tidak sempurna akan semakin menurunkan kualitas air sehingga air tidak dapat lagi mendukung seluruh proses yang berlangsung di dalamnya. Hal ini yang akan menyebabkan turunnya daya dukung air .

## **2.1 AIR LIMBAH**

Setiap masyarakat pasti mempunyai buangan, baik yang cair, padat, maupun yang berupa gas. Buangan cair yang berasal dari masyarakat perkotaan dan perdesaan, umumnya berupa air bekas penggunaan dari berbagai aktivitas sehari-hari. Air bekas itu menurut terminologi di Indonesia disebut AIR LIMBAH (= air buangan).

### **2.1.1 Jenis Sumber Air Limbah**

Setiap jenis kegiatan mempunyai sifat yang khusus yang berbeda-beda bergantung pada bahan baku yang digunakan, dan cara proses kegiatan yang dilakukan. Dengan demikian limbah yang di hasilkan berbeda-beda untuk setiap jenis kegiatan. Sumber pencemar dapat di golongankan dalam dua jenis yaitu sumber-sumber yang diketahui jelas asalnya (point source) seperti industri, rumah sakit, hotel dan sumber pencemar yang tidak jelas asalnya (nonpoint source) seperti pemukiman (penduduk), pertanian dan peternakan.

Selain itu, jenis air limbah dapat dibedakan atas air bekas pemakaian rumah tangga dapat disebut “AIR LIMBAH DOMESTIK“ dan air bekas pemakaian proses dan operasi industri dapat disebut “AIR LIMBAH INDUSTRI“. Air pemakaian rumah tangga, tidak hanya rumah tinggal, tetapi juga dalam kantor-kantor institusi, hotel, tempat hiburan, daerah komersial, bahkan dalam lingkungan industri pun ada pemakaian air untuk rumah tangga, yaitu dari fasilitas saniter : Bak cuci (dapur, tangan), kamar mandi (Bak air / bak rendam / pencucian), kamar

kecil (WC, peturasan), dan lain sebagainya, sehingga sumber dari air limbah domestik dapat berupa point source maupun non point source.

### 2.1.2 Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah air bekas pemakaian yang berasal dari aktivitas daerah pemukiman yang kontaminannya didominasi oleh bahan organik dan langsung dapat diolah secara biologis.

Sumber pencemaran berasal dari kegiatan yang dilakukan setiap hari yang berasal dari kegiatan memasak, mandi, mencuci dan lain-lain. Komposisi limbah penduduk terdiri atas 99,9% air dan 0,1% padatan, yang pada umumnya terdiri atas 70% substansi organik dan 30% substansi anorganik. Substansi organik tersebut umumnya terdiri atas protein 65%, karbohidrat 25% dan lemak 10%, sedangkan substansi anorganik terdiri dari pasir, garam dan logam. Parameter bermakna untuk limbah ini adalah parameter BOD, padatan tersuspensi, ammonia dan nitrat. Cemaran air limbah domestik yang dominan umumnya bersifat organo-mikrobiologis. Tipikal komposisi air limbah domestik yang belum diolah disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tipikal komposisi air limbah domestik mentah

No	Kontaminan	Satuan	Kelas dan konsentrasi		
			Lemah	Sedang	Kuat
1	TDS	mg/L	250	500	850
2	TSS	mg/L	100	220	350
3	BOD <sub>5</sub>	mg/L	110	220	400
4	TOC	mg/L	80	160	290
5	COD	mg/L	250	500	1000
6	N Total	mg/L	20	40	85
7	-N Organik	mg/L	8	15	35
	-Amonia Bebas	mg/L	12	25	50
8	P Total	mg/L	4	8	15
9	Klorida	mg/L	30	50	100
10	Sulfat a)	mg/L	20	30	50
11	Alkalinitas (sbg CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	50	100	200
12	Lemak	mg/L	50	100	150
13	Total Coliform b)	no/100 mL	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
14	VOCs	ug/L	<100	100-400	>400

a) Harganya harus ditambah dengan jumlah persen dalam PAM.

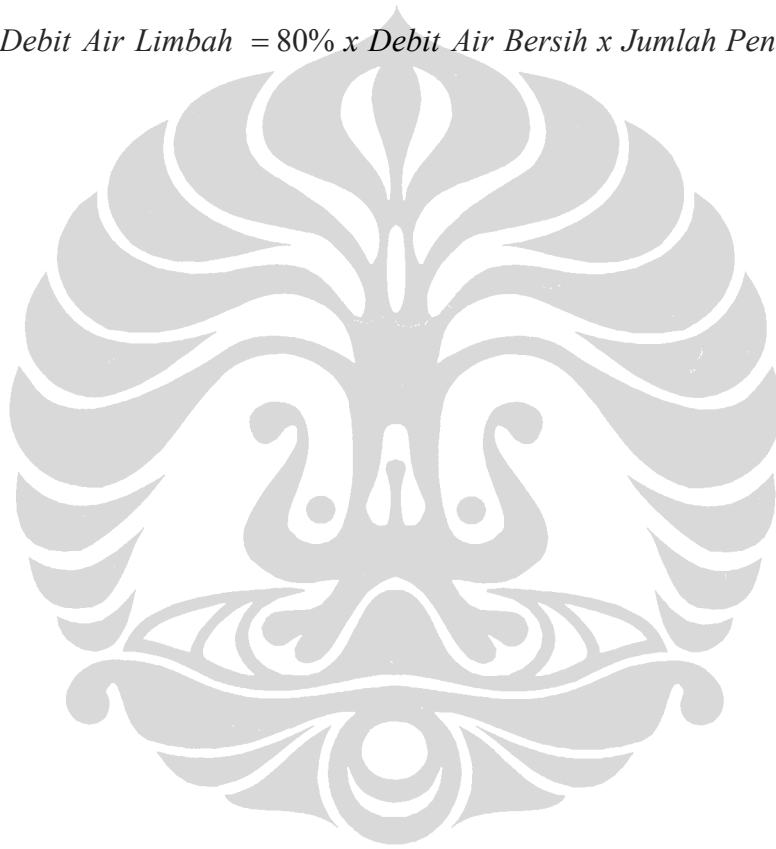
b) Harga tipikal 10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup> no/mL

Sumber : Metcalf&Eddy

### 2.1.2.1 Perhitungan debit air limbah domestik

Perhitungan debit air limbah domestik didasarkan atas jumlah penduduk yang menempati daerah tersebut. Jumlah penduduk akan merefleksikan jumlah penggunaan air bersih. Debit air limbah domestik diperoleh dari 80% konsumsi air bersih (Basis data lingkungan DKI Jakarta tahun 2005). Besarnya pemakaian air bersih dan limbah yang dihasilkan berdasarkan atas berbagai kegiatan domestik dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini. Perhitungan debit limbah adalah sebagai berikut :

$$\text{Debit Air Limbah} = 80\% \times \text{Debit Air Bersih} \times \text{Jumlah Penduduk} \dots\dots\dots(2.1)$$



Tabel 2.2 Besaran Population Equivalen (PE) , Pemakaian Air Bersih dan Debit Air Limbah

No	Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Debit Air Limbah	Satuan	PE	Acuan
1.	Rumah Mewah	250	200	Liter/Penghuni/hari	1,67	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
2.	Rumah Biasa	150	120	Liter/Penghuni/hari	1,00	Study JICA 1990 (proyeksi 2010)
3.	Apartement	250	200	Liter/Penghuni/hari	1,67	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
4.	Rumah Susun	100	80	Liter/Penghuni/hari	0,67	
5.	Asrama	120	96	Liter/Penghuni/hari	0,80	
6.	Klinik/Puskesmas	3	2,7	Liter/Pengunjung/hari	0,02	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
7.	Rumah Sakit Mewah	1000	800	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari	6,67	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
	Rumah Sakit Menengah	750	600	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari	5,00	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
	Rumah Sakit Umum	425	340	Liter/jumlah tempat tidur pasien/hari	2,83	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
8.	Sekolah Dasar	40	32	Liter Siswa/hari	0,27	SNI 03-7065-2005
9.	SLTP	50	40	Liter Siswa/hari	0,33	SNI 03-7065-2005
10.	SLTA	80	64	Liter Siswa/hari	0,53	SNI 03-7065-2005
11.	Perguruan Tinggi	80	64	Liter Mahasiswa/hari	0,53	SNI 03-7065-2005

(Tabel bersambung)

(Sambungan tabel 2.2)

No	Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Debit Air Limbah	Satuan	PE	Acuan
12.	Rumah Toko/Rumah Kantor	100	80	Liter Penghuni dan pegawai/hari	0,67	SNI 03-7065-2005
13.	Gedung Kantor	50	40	Liter/pegawai/hari	0,33	SNI 03-7065-2005
14.	Toserba (toko serba ada,mall, department store)	5	4,5	Liter/m luas lantai/hari	0,04	SNI 03-7065-2005
15.	Pabrik/Industri	50	40	Liter/pegawai/hari	0,33	SNI 03-7065-2005
16.	Stasiun/Terminal	3	2,7	Liter/penumpang tiba dan pergi/hari	0,02	SNI 03-7065-2005
17.	Bandara Udara	3	2,7	Liter/penumpang tiba dan pergi/hari	0,02	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
18.	Restoran	15	13,5	Liter/kursi/hari	0,11	SNI 03-7065-2005
19.	Gedung Pertunjukan	10	9	Liter/kursi/hari	0,08	SNI 03-7065-2005
20.	Gedung Bioskop	10	9	Liter/kursi/hari	0,08	SNI 03-7065-2005
21.	Hotel Melati s/d Bintang 2	150	120	Liter/tempat tidur/hari	1,00	SNI 03-7065-2005
22.	Hotel Bintang 3 ke atas	250	200	Liter/tempat tidur/hari	1,67	SNI 03-7065-2005
23.	Gedung Peribadatan	5	4,5	Liter/orang/hari (belum dengan air wudhu)	0,04	SNI 03-7065-2005
24.	Perpustakaan	25	22,5	Liter/jmlh. Pengunjung/hari	0,19	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.

(Tabel bersambung)

(Sambungan tabel 2.2)

No	Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Debit Air Limbah	Satuan	PE	Acuan
25.	Bar	30	24	Liter/jmlh. Pengunjung/hari	0,20	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
26.	Perkumpulan Sosial	30	27	Liter/jmlh. Pengunjung/hari	0,23	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
27.	Klab Malam	235	118	Liter/jmlh.kursi/ hari	1,57	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
28.	Gedung Pertemuan	25	20	Liter/kursi/hari	0,17	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
29.	Laboratorium	150	120	Liter/jmlh. Staf/hari	1,00	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.
30	Pasar Tradisional/Modern	40	36	Liter/kios/hari	0.30	Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura.

Sumber :Lampiran Pergub DKI Jakarta 122 th 2005



### 2.1.2.2 Perhitungan Beban Air Limbah Domestik

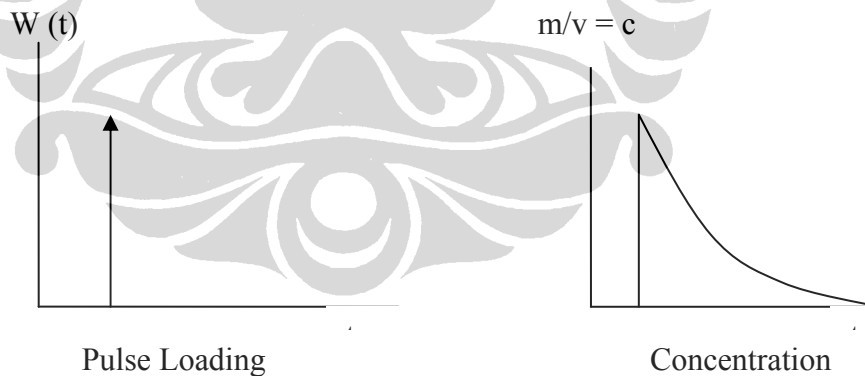
Perhitungan beban air limbah didasarkan atas jumlah penduduk dimana tiap penduduknya memiliki beban limbah. Beban limbah per orang dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 2.3 Beban air limbah domestik dari tiap negara (Metcalf&Eddy)

Negara	BOD (g/capita.day)	TSS (g/capita.day)	TKN (g/capita.day)	NH3-N (g/capita.day)
Germany	55-68	82-96	11-16	Not Defined
India	27-41	Not Defined	Not Defined	Not Defined
Japan	40-45	Not Defined	1-3	Not Defined
USA	50-120	60-150	9-22	5-12

Sumber : Metcalf & Eddy

Berdasarkan Basis Data Lingkungan DKI tahun 2005, DKI Jakarta memiliki beban BOD sebesar 53.97 g/org/hari . Pada penelitian ini, tipe beban limbah yang digunakan adalah Pulse Loading dimana ketika pengukuran dan perhitungan, pembuangan limbah dianggap pada suatu periode yang singkat. Jenis beban limbah akan mempengaruhi bentuk dari konsetrasi limbahnya. Grafik beban dan konsetrasi limbahnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Grafik Beban dan Konstrasi pada Pulse Loading

Baku mutu limbah Domestik di DKI Jakarta diatur dalam PerGub Provinsi DKI Jakarta No 122 tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik yang baku mutu BOD nya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Baku mutu BOD sesuai dengan PerGub Provinsi DKI Jakarta No 122 tahun 2005

Parameter	Individual/Rumah Tangga	Komunal	Satuan
BOD	75	50	mg/L

### 2.1.2.3 Perhitungan Konsentrasi Limbah Domestik

Pada dasarnya, dalam badan air alami terdapat kesetimbangan massa, dimana pada sistem tercampur sempurna kesetimbangan massa adalah

$$V \frac{dc}{ct} = W(t) - Qc - kVc - vAs c \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana  $V \frac{dc}{ct} = Akumulasi$

$W(t) = \text{Beban limbah masuk}$

$Qc = \text{Beban limbah (outflow)}$

$kVc = \text{Reaksi}$

$vAs c = \text{Pengendapan}$

Pada kondisi steady state, dari persamaan 2.2,  $dc/dt$  adalah tetap sehingga tidak adanya akumulasi massa sehingga kesetimbangan massa menjadi

$$0 = W(t) - Qc - kVc - vAs c$$

$$W(t) = Qc + kVc + vAs c \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Pada penelitian ini, tidak diperhitungkan adanya reaksi di air dan pengendapan sehingga total beban berasal hanya dari total limbah yaitu limbah domestik, sampah domestik dan sumber instansional (industri, apartemen, perkantoran, rumah sakit dan industri). Pada akhirnya perhitungan menjadi

$$W(t) = Qc \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Sehingga, konsentrasi outflow (konsentrasi untuk perhitungan pada penelitian ini menjadi

$$c = W(t) / Q \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

atau

$$\text{Konsentrasi Limbah (mg/L)} = \frac{\text{Beban Limbah (mg/luas area atau orang/hari)}}{\text{Debit Limbah (L/orang/hari)}}$$

Baku mutu limbah domestik di DKI Jakarta telah diatur dalam Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No 122 tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi DKI Jakarta yang dapat dilihat pada tabel berikut

### 2.1.3 Limbah Padat Domestik (Sampah)

Limbah padat domestik pada umumnya berupa sampah dimana sumber sampah berhubungan dengan tata guna lahan yang pada akhirnya akan mempengaruhi tipe dan karakteristik sampah itu sendiri. Jumlah sampah yang dihasilkan akan mentransformasikan jumlah BOD yang dihasilkan dari sampah yang dihasilkan. Sampah yang tidak tertangani akan dibuang ke badan air dan menjadi pencemar tambahan yang dapat dihitung melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Beban sampah

$$\text{Beban sampah (kg/hari)} = \text{Berat sampah/orang/hari} \times \text{jumlah penduduk} \dots(2.6)$$

Berdasarkan Basis Data Lingkungan DKI Jakarta tahun 2005 tiap orang pada umumnya akan menghasilkan 1.21 kg sampah/orang/hari

b. Perhitungan sampah yang tidak tertangani

$$\text{Beban sampah tidak tertangani (kg/hari)} = (\% \text{ sampah tidak tertangani}) \times \text{berat sampah} \dots\dots\dots(2.7)$$

c. Perhitungan beban BOD

Penelitian yang dilakukan oleh INEGI dan SEMARNAP pada sungai di Mexico tahun 1998 menyatakan bahwa 1 gram sampah organik memiliki nilai BOD sebesar 2.82 gr. Nilai inilah yang menyatakan beban BOD sampah (W sampah) tersebut. Perhitungan BOD sampah didasarkan atas jenis sampah organik saja yaitu sebesar 50 – 70 % dari total seluruh jenis sampah.

Limbah domestik berasal dari limbah cair penduduk dan limbah padat atau sampah, sehingga Konsentrasi total BOD limbah domestic dapat dihitung dengan cara

$$\text{Konsentrasi Limbah Domestik Campuran Sampah (C)} = \frac{Q_{\text{air limbah}} \cdot C_{\text{air limbah}} + W_{\text{sampah}}}{Q_{\text{air limbah}}}$$

.....(2.8)

#### 2.1.4 Limbah Non Domestik

Air limbah non domestik adalah air bekas pemakaian yang berasal dari daerah non pemukiman, yaitu dari daerah komersial, perkantoran, institusional, Laboratorium, rumah sakit, industri, dan lain sebagainya. Kontaminan air limbah non domestik ada yang didominasi oleh cemaran bahan organik, juga ada yang didominasi oleh cemaran bahan anorganik. Cemaran yang didominasi oleh bahan organik, biasanya dari sumber pemakaian seperti halnya dari daerah domestik, yaitu dari fasilitas-fasilitas saniter, baik itu dari daerah komersial, pariwisata, perkantoran, laboratorium, rumah sakit, maupun dari daerah industri. Air limbah yang berasal dari pemakaian domestik ini, juga dikategorikan air limbah domestik. Sebaliknya, jika kontaminasi air limbah non domestik ini didominasi oleh cemaran bahan anorganik maka dapat dikategorikan air limbah industri. Hal ini biasanya merupakan air bekas pemakaian dari sesuatu proses yang bukan pemakaian domestik dari fasilitas saniter.

Limbah industri tergantung dari jenis industri dan prosesnya. Air limbah industri yang dominan bersifat fisiko-kimiawi, terutama logam berat, diantaranya tergolong B2 dan B3 (Bahan berbahaya dan Beracun).

Air limbah industri, tidak langsung diolah secara biologis, perlu pengolahan kimiawi. Karena sifatnya yang sangat korosif itu, maka cara penyalurannya pun, biasanya dibedakan, yaitu dengan saluran khusus tahan korosif. Jika air limbah industri ini setelah diolah dalam tingkat prapengolahan dan telah memenuhi standar seperti air limbah domestik, maka penyalurannya dapat diijinkan bersama-sama dengan saluran air limbah domestik. Jika tidak, harus khusus ditangani individual oleh industri masing-masing atau secara kolektif khusus untuk instalasi air limbah industri. Penyaluran air limbah domestik dan industri, yang paling baik adalah dengan teknologi yang higienis, yaitu dengan saluran tertutup dan tidak bocor.

Pada penelitian ini jenis non domestik yang merupakan limbah sumber instansional yang dapat diinventaris pada daerah pengaliran sungai Ciliwung adalah limbah rumah sakit, limbah industri tekstil, limbah laundry, limbah industri farmasi, limbah percetakan, limbah industri makanan. Sampai saat ini, baku mutu limbah non domestik yang telah disusun oleh pemda DKI Jakarta meliputi limbah industri tekstil, limbah industri farmasi dan limbah industri makanan yang diatur dalam Keputusan Gubernur KDKI Jakarta No.582 tahun 1995 tentang Penetapan Peruntukkan dan Baku Mutu Badan Air Serta Baku Mutu Limbah Cair untuk parameter DO dan BOD di Wilayah DKI Jakarta yang dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Baku mutu air limbah industri berdasar KepGub KDKI Jakarta No.582 tahun 1995

No	Jenis Industri	Parameter	Kadar Maksimum	Beban limbah Maksimum (kg/ton)						
			(mg/L)	Terpadu	Pencucian kapas, pemintalan, penenunan	Sizing / Desizing	Scouring	Bleaching	Dyeing	Printing
1	Tekstil	BOD (5hari, 20C)	75	9.375	0.525	0.75	1.8	1.35	1.5	0.45
		Debit Limbah Maksimum (m <sup>3</sup> /ton produk tekstil)		125	7	10	24	18	20	6
2	Makanan	BOD (5hari, 20C)	75	Mie	Biskuit dan Roti	Kembang Gula	Tahu	Kecap / Tempe	Sambal	
		Debit Limbah Maksimum (m <sup>3</sup> /ton produk tekstil)		0.15	0.375	1.125	1.125	0.375	0.188	
				2	5	15	15	5	2.5	

No	Jenis Industri	Parameter	Sintesa		Formulasi
			Kadar Maksimum	Beban Limbah Maksimum	Kadar Maksimum
			(mg/L)	(kg/ton)	(mg/L)
3	Farmasi	BOD (5hari, 20C)	75	1.875	75
		Debit Limbah Maksimum (L/kg produk)	25		

limbah dari saluran daerah pelayanan dikumpulkan dalam saluran riol pengumpul, kemudian dialirkan kedalam riol kota menuju tempat pembuangannya yang

aman, baik dengan Bangunan Pengolahan Air Buangan (BPAB), dan / atau dengan pengenceran tertentu (*intercepting sewer*), memenuhi standar mutu, dapat dibuang ke Badan Air Penerima (BAP). Jika tingkat kontaminasi air limbah dalam jaringan riol itu tidak memenuhi persyaratan baku mutu badan air tertentu, maka tidak boleh langsung dibuang ke badan air tersebut, perlu diolah lebih dahulu. Tempat pengolahan umumnya dalam Bangunan Pengolahan Air Buangan. Sistem ini disebut sistem terpusat (*offsite system*). Pada lingkungan perkotaan, terutama yang padat penduduknya, lahan pekarangannya sempit sehingga tidak tersedia lahan untuk membuat fasilitas saniter setempat. Oleh karena itu sistem terpusat merupakan pilihan yang baik dimana air limbahnya dikumpulkan dan disalurkan dalam sistem jaringan riol kota (saluran tertutup khusus untuk air limbah).

Sistem setempat, yaitu sistem dimana pada daerah itu tidak ada sistem riol kota. Fasilitas saniter untuk lingkungan kecil yang masih tersedia lahan tanah pekarangannya, dapat dibuat dalam sistem setempat (*onsite system*), misal dengan bangunan cubluk, tangki septik, dan bangunan pengolahan setempat lainnya. Bangunan cubluk tidak kedap air (*rembes*), sehingga hanya pada daerah dimana kedalaman air tanahnya lebih besar dari 10 m, dapat di install. Untuk daerah yang kedalaman air tanahnya kurang dari 10 m, dianjurkan untuk membangun tangki septik. Tangki septik perlu dilengkapi dengan bidang rembesan untuk mengolah air efluennya. Bidang rembesan memerlukan luas lahan tertentu, dimana hal ini yang menjadi masalah pada daerah yang padat. Untuk mengurangi luas lahan bidang rembesan ini, sering air limbah domestik itu dibagi dua, yaitu air limbah kotor (dari WC dan Urinoir) yang disebut BLACK WATER, dimasukkan kedalam tangki septik : sedangkan air limbah lainnya, yang bukan dari WC dan URINOIR, yaitu air limbah cucian, (dapur, mandi, pakaian, wastafel, dll) yang biasanya disebut GREY WATER, dibuang langsung ke dalam saluran drainase terdekat.

Sistem penyaluran air buangan ada dua, yaitu sistem terpisah dan sistem tercampur. Sistem terpisah cocok diterapkan bila fluktuasi debit total pada musim kemarau dan musim hujan besar sekali. Sebaliknya, sistem tercampur cocok diterapkan bila fluktuasi debit total pada musim kemarau dan musim hujan relatif kecil.

## **2.2 BADAN AIR PENERIMA ATAU AIR SUNGAI**

### **2.2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Suatu DAS adalah daerah yang dianggap sebagai wilayah dari suatu titik tertentu pada suatu sungai dan dipisahkan dari DAS-DAS di sebelahnya oleh suatu pembagi (divide), atau punggung bukit / gunung yang dapat ditelusuri pada peta topografi. Semua air permukaan yang berasal dari daerah yang dikelilingi oleh pembagi tersebut dialirkan melalui titik terendah pembagi, yaitu tepat yang dilalui oleh sungai utama pada DAS yang bersangkutan.

DAS merupakan kawasan yang mempunyai ciri tertentu yang berhubungan erat dengan analisa limpasan :

- a. Daerah tangkapan air
- b. Panjang sungai induk dalam satuan km
- c. Lereng, bentuk dan arah DAS
- d. Kekерapan sungai
- e. Angka aliran dasar
- f. Curah hujan rata-rata tahunan dan iklim

### **2.2.2 Karakteristik Kualitas Air Sungai Berdasarkan Beberapa Parameter Utama**

Karakteristik kualitas air baik pada air buangan maupun air sungai yang penting meliputi karakteristik fisis dan kimiawi.

#### **2.2.2.1 Karakteristik Fisis**

Sifat fisis umumnya relatif mudah di ukur, salahsatunya adalah suhu. Setiap organisme perairan memerlukan kondisi suhu tertentu untuk menunjang kehidupannya yang berbeda-beda untuk setiap jenis organisme air. Pada umumnya spesies dapat menyesuaikan diri dengan perubahan suhu yang tidak terlalu besar dari suhu optimumnya, namun apabila perubahannya terlalu besar, akan menyebabkan kematian atau migrasi ke tempat lain. Perubahan 5 ° C sudah dapat mengganggu keseimbangan kehidupan perairan. Suhu sangat erat kaitannya dengan kelarutan oksigen dalam air yang sangat diperlukan oleh ikan dan organisme air lainnya. Suhu semakin tinggi, kelarutan gas akan semakin rendah,

sehingga ikan yang memerlukan oksigen dalam kehidupannya akan meningkatkan metabolisme tubuh untuk mendapatkan oksigen. Selain itu sifat suhu lainnya, adalah mempercepat terjadinya reaksi kimia. Namun di sisi lain pada pengolahan air limbah secara biologis, suhu yang relatif tinggi menguntungkan karena menambah aktivitas bakteri (Suhu optimal 30° dan 37° C).

#### **2.2.2.2 Karakteristik Kimiawi**

Pada umumnya karakteristik kimiawi yang merupakan indikator kualitas air khususnya akibat limbah domestik adalah parameter BOD (Biochemical Oxygen Demand). BOD adalah banyaknya oksigen yang di perlukan oleh bakteria untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam sampel secara biokimiawi. DO (Dissolved Oksigen) menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang tersedia pada baik pada air limbah atau pada badan air penerima untuk melakukan degradasi materi organik. Semakin tinggi BOD dan semakin rendah DO menunjukkan kualitas air yang semakin rendah karena tingginya BOD menunjukkan bahwa limbah sulit didegradasi sehingga membutuhkan jumlah oksigen yang besar, namun karena DO air yang rendah maka air tidak dapat menyediakan oksigen untuk melakukan degradasi limbah tersebut. Pada akhirnya, limbah akan menjadi anaerob sehingga terbentuk kondisi yang septik. Pembuangan limbah dalam jumlah yang besar dan kontinu dibarengi dengan kondisi air penerima yang telah menjadi septik, akan terus menambah beban air penerima dan air tidak memiliki waktu untuk merecovery dirinya kembali. Hal ini yang menyebabkan BOD dan DO merupakan salah satu indikator kualitas air yang sangat penting.

##### **1) Biochemical Oxygen Demand ( BOD)**

Substansi organik umumnya tidak stabil, dan akan teroksidasi baik secara biokimiawi maupun secara kimiawi menjadi zat yang stabil. Hasil akhir proses oksidasi ini adalah karbondioksida, nitrat, air dan oksida-oksida lainnya. Suatu indikasi bahwa limbah mengandung substansi organik di peroleh dengan pengukuran jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan komponen organik menjadi komponen lainnya yang stabil. Hal ini dapat diketahui dengan mencari nilai BOD nya.



BOD adalah banyaknya oksigen yang di perlukan oleh bakteri untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam sampel secara biokimiawi. Substansi organik akan terurai sempurna kurang lebih selama 20 hari. Jumlah oksigen yang di gunakan untuk menyempurnakan dekomposisi seluruh substansi organik yang dapat terbiodegradasi disebut BOD tertinggi. Sebagai contoh, jika 1L limbah domestik membutuhkan 300 mg oksigen untuk menyempurnakan dekomposisi substansi organik, maka BOD dinyatakan 300 mg/L. 1 L limbah industri makanan membutuhkan oksigen sebanyak 1500 mg untuk mendekomposisi sempurna substansi organik, maka BOD limbah industri makanan tersebut adalah 1500 mg/L.

BOD merupakan fungsi dari waktu. Pada hari ke nol tidak ada oksigen yang di gunakan, maka besarnya BOD = 0. Sejalan dengan waktu, oksigen mulai digunakan, maka BOD pun mulai meningkat, dan apabila zat organik telah terdekomposisi sempurna, maka BOD pun mencapai BOD tertinggi. Kurva BOD terhadap waktu terlihat pada gambar 2.8.

Kecepatan penggunaan oksigen dinyatakan dengan konstanta k. Nilai konstanta bergantung pada suhu, jenis zat organik dan jenis mikrobya. Untuk limbah domestik, nilai k pada suhu 20° C dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.6 Nilai Konstanta BOD rate pada 20° C

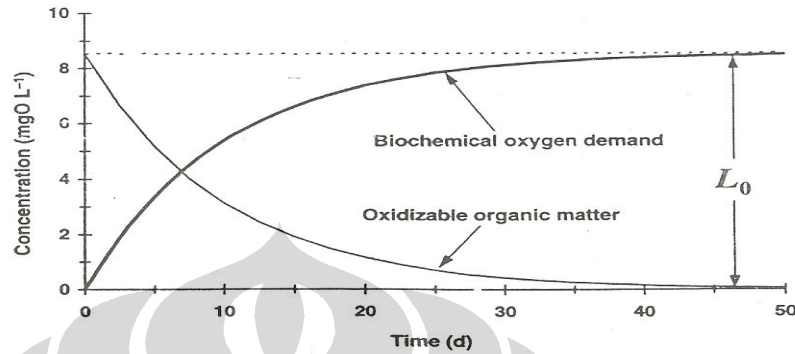
Substance	$k_{10}, \text{day}^{-1}$
Untreated wastewater	0.15 – 0.28
High-rate filters and anaerobic contact	0.12 – 0.22
High-degree biotreatment effluent	0.06 – 0.1
Rivers with low pollution	0.04 – 0.08

Sumber : (Eckenfelder, 1991)

Menurut Eckenfelder, nilai k diatas diperoleh dari pengukuran di dalam botol. Namun, nilai k di dalam botol dengan nilai k di sungai dalam hal ini K<sub>1</sub> agak berbeda. Hubungan antara k dengan K<sub>1</sub> adalah

$$K_1 = k + \frac{v}{H} \eta \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana  $v$  = kecepatan sungai  
 $H$  = kedalaman sungai  
 $\eta$  = Koefisien aktifitas bed,  
 0.1 (stagnan dan sungai dalam) – 0.6 (arus deras dan dangkal)



Gambar 2.3: Kurva BOD dan materi organik terdekomposisi terhadap waktu ( Sumber : Chapra,1997)

## 2) Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen merupakan unsur yang sangat penting dalam pengendalian kualitas air. Adanya oksigen terlarut dalam air sangat penting untuk menjaga kehidupan biologis seperti ikan dan organisme perairan lainnya. Kelarutan oksigen dalam air sangat kecil, terutama pada suhu tinggi kelarutan oksigen akan semakin berkurang.

Kelarutan oksigen sangat kecil sehingga terjadi kompetisi di antara organisme air, termasuk bakteri. Bakteri akan menggunakan oksigen sangat cepat jika terdapat banyak substansi organik di dalam air. Oleh karena itu DO akan cepat berkurang dengan adanya limbah organik. Ikan air tawar dan ikan lainnya akan segera mati apabila terjadi penurunan DO yang besar. Kelarutan oksigen di dalam air tergantung pada temperatur. Semakin besar temperatur maka mekanisme bakteri akan lebih cepat sehingga kelarutan oksigen berkurang. Pemenuhan oksigen di dalam air dipengaruhi oleh nilai *reaeration rate* ( $K_2$ ).

## 3) BOD dan DO pada air sungai

Rumus untuk menghitung perubahan nilai BOD dan DO sepanjang sungai telah dilakukan oleh Streeter-Phelps dengan persamaan perubahan nilai BOD dalam satuan waktu adalah

$$\frac{dL}{dt} = -Kr L$$

$$L = Lo \exp - Kr t \dots\dots\dots(2.10)$$

$$L = Lo \exp - Kr x/v$$

Dimana

$L$  dan  $\frac{dL}{dt}$  = Konsentrasi BOD dan Perubahan konsentrasi BOD terhadap waktu (mg/l)  
 $Kr$  = removal rate (per day)  
 $= K_1 + K_3$   
 $= decay rate + settling rate$   
 $Lo$  = konstrasi BOD awal (mg/l)

Sedangkan perubahan nilai DO nya diperoleh persamaan berikut

$$c = c_s - \left\{ \frac{K_1}{K_2 - Kr} \left[ \exp\left(-Kr \frac{x}{u}\right) - \exp\left(-K_2 \frac{x}{u}\right) \right] \right\} Lo - (c_s - c_o) \exp\left(-K_2 \frac{x}{v}\right) \dots\dots(2.11)$$

Dimana  $c$  dan  $c_s$  = konsentrasi oksigen dan konsentrasi oksigen jenuh (mg/l)  
 $u$  dan  $x$  = kecepatan aliran dan jarak  
 $c_o$  = konsentrasi oksigen awal(mg/l)

Dari perubahan nilai DO, pada suatu waktu dicapai nilai DO terendah, dimana daerah tersebut disebut sebagai titik kritis. Waktu yang diperlukan untuk mencapai titik kritis ditulis dalam persamaan berikut yaitu

$$t_c^* = \frac{1}{K_2 - Kr} \ln \left\{ \frac{K_2}{Kr} \left[ 1 - \frac{Do(K_2 - Kr)}{K_1 Lo} \right] \right\} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$x_c = v x t_c \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana

$t_c$  dan  $x_c$  = Waktu untuk mencapai jarak titik kritis dan jarak titik kritis  
 $K_2$  = reareation rate (per day)

### 2.2.3 Pembersihan Alami Air Sungai

Sungai merupakan air permukaan yang badan airnya selalu bergerak mengikuti gaya gravitasi. Dalam pengalirannya air sungai menghanyutkan

kotoran-kotoran, ganggang dan lain-lain ke arah hilir, sehingga kotoran akan terakumulasi. Sampai batas-batas tertentu sungai mempunyai kemampuan untuk mengasimilasi limbah yang dapat terbiodegrasi; ini berarti sungai dapat memulihkan diri dari pengaruh pengotoran secara alami tanpa terjadi kerusakan lingkungan. Kapasitas asimilasi tersebut tergantung pada beberapa faktor yaitu :

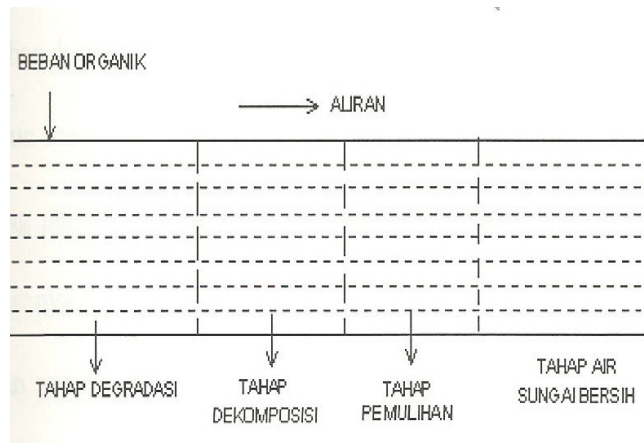
1) Keadaan air Sungai :

- debit air
- jenis pencemar yang telah ada
- konsentrasi pencemar yang ada
- suhu air
- derasnya aliran (turbulensi)

2) Keadaan Sumber Pencemar :

- debit limbah
- jenis zat pencemar
- konsentrasi zat pencemar

Pengaruh pengenceran dan penggelontaran merupakan faktor yang sangat membantu dalam meningkatkan kapasitas asimilasi. Hal lain yang sama pentingnya adalah pengaruh aerasi ulang. Oksigen terlarut dalam air akan selalu terisi kembali oleh oksigen dari atmosfer yang bersinggungan dengan permukaan air. Aliran yang cepat, dangkal dan turbulen akan mempunyai kemampuan aerasi ulang yang lebih besar dari pada aliran air yang lambat dan dalam. Kecepatan aerasi ini disebut dengan *reaeration rate* ( $K_2$ ). Fungsi oksigen ini sangat penting di dalam proses asimilasi. Apabila suatu beban limbah pencemar organik di buang ke sungai, proses pemulihan diri dapat digambarkan dalam empat tahap, seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Zone pencemaran di badan air yang menerima limbah organik yang terbiodegrasi (Sumber : Nathason, 1986)

Tahap pertama adalah tahap degradasi. Tahap ini terjadi mulai dari lokasi di bawah saluran pembuangan limbah yang ditandai dengan terjadinya perubahan fisik seperti banyaknya zat padat terapung, kekeruhan, dan lain-lain yang umumnya dapat dilihat secara visual sebagai tanda-tanda pencemaran. Oksigen terlarut (DO) akan menurun dengan cepat karena terjadi proses deoksigenasi seperti terlihat pada gambar 2.4. Jika dekomposisi mendominasi maka nilai DO akan terus turun. Disini dikatakan bahwa *deoxygenation rate* lebih besar dari *reoxygenation rate*. Sedangkan rearserasi, mendominasi maka fenomena akan terjadi sebaliknya. Rumus dari *deoxygenation rate* dan *reoxygenation rate* (Sumber : Ray K. Linle, 1964) adalah

$$r_D = K_1 L \dots\dots\dots(2.14)$$

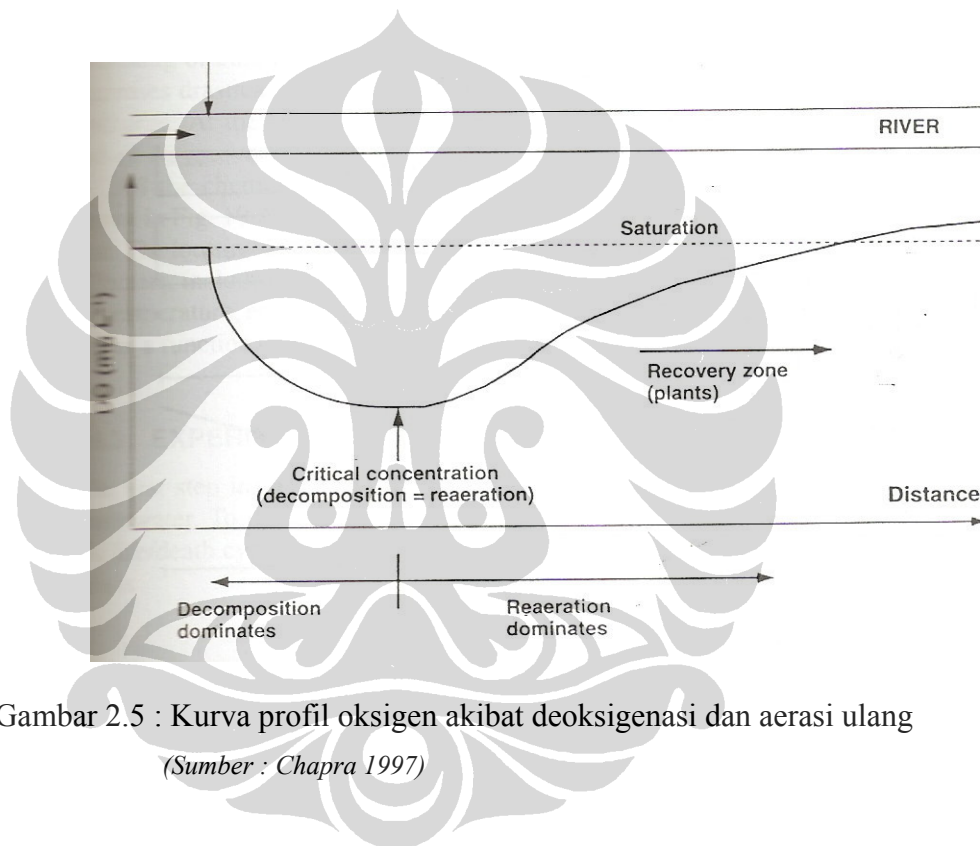
dimana  $r_D = \text{Deoxygation rate}$   
 $K_1 = \text{Deoxygenation rate constant}(\text{day}^{-1})$   
 $L = \text{BOD (mg/L)}$

$$r_R = K_2 D \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana  $r_R = \text{Reoxygenation rate}$   
 $K_2 = \text{Reaeration rate constant}(\text{day}^{-1})$   
 $D = \text{Dissolved Oxgen Deficit (Cs - C) mg/L}$

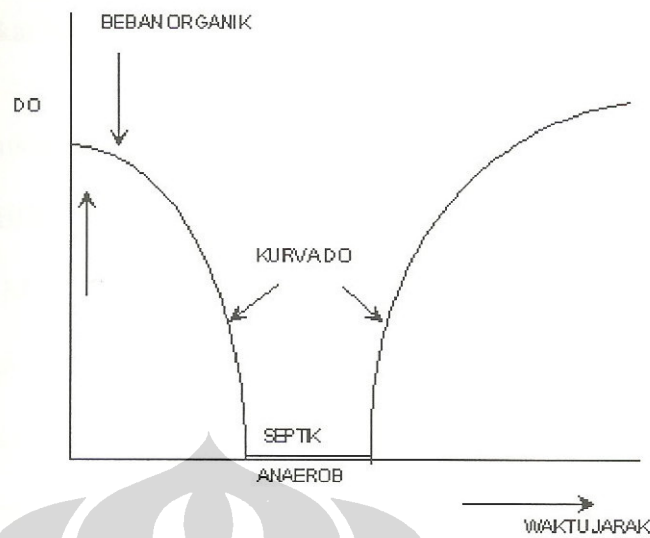
Tahap kedua adalah tahap dekomposisi. Tahap ini terjadi apabila DO turun mencapai 40% dari DO jenuh. Tahap ini merupakan kondisi air yang paling buruk karena deoksigenasi semakin besar. Pada tahap ini biasanya terjadi

kematian ikan atau bermigrasinya ikan. Hanya ikan-ikan yang mempunyai toleransi tinggi yang masih dapat hidup seperti ikan gurame atau sapu-sapu. Keanekaragaman spesies akan berubah dengan terjadinya perubahan DO. Pada tahap ini terdapat kemungkinan terjadinya pengendapan lumpur di sungai. Apabila proses dekomposisi ini berlangsung anaerob, maka akan terbentuk gelembung-gelembung gas, lumpur terapung dan bau yang tidak enak (gambar 2.5). Setelah zat-zat organik terdekomposisi oleh mikroba, kecepatan reaerasi akan meningkat melebihi kecepatan deoksigenasi.



Gambar 2.5 : Kurva profil oksigen akibat deoksigenasi dan aerasi ulang

(Sumber : Chapra 1997)

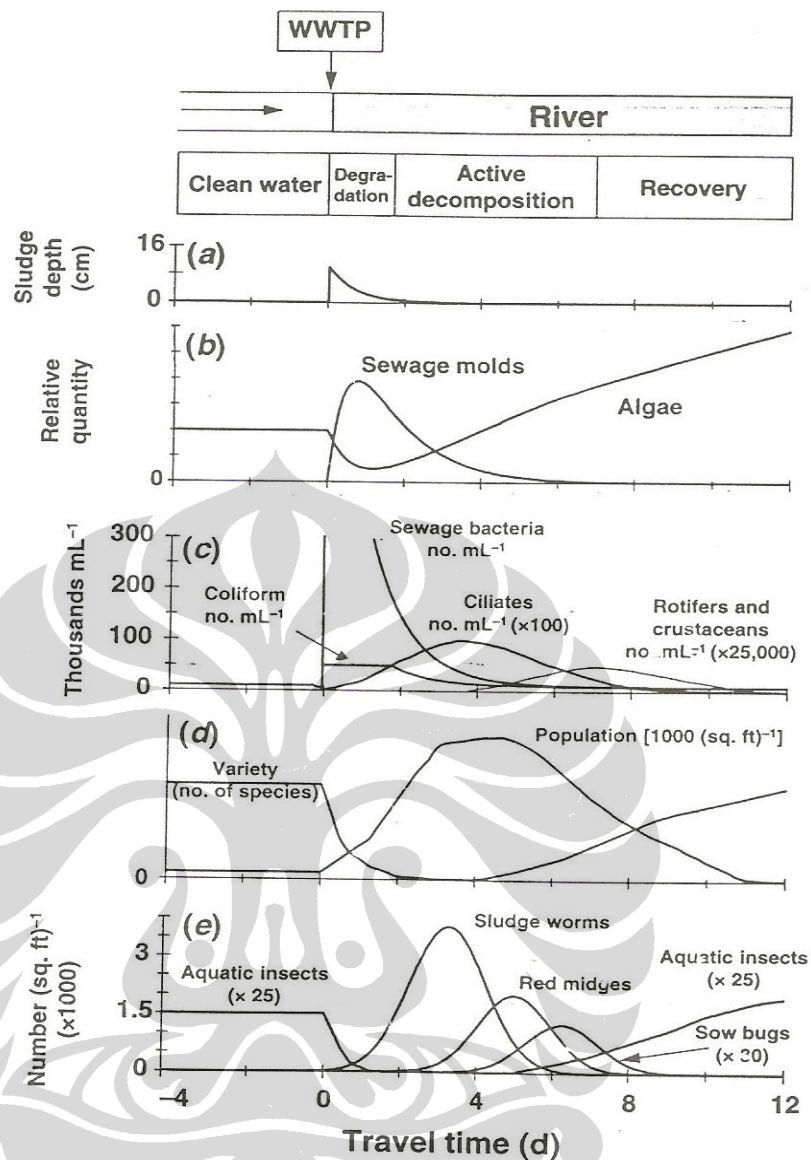


Gambar 2.6 : Perubahan oksigen terlarut akibat beban limbah organik yang cukup berat (Sumber : Nathason, 1986)

Tahap ketiga adalah tahap pemulihan. Tahap ini terjadi apabila oksigen terlarut meningkat kembali menjadi 40% dari konsentrasi DO jenuh seperti terlihat pada gambar 2.5. Tahap ini ditandai dengan jernihnya air secara berangsur-angsur, tidak terjadi bau dan mulai terlihat adanya kehidupan akuatik. Apabila beban limbah organik yang masuk ke sungai sangat kecil maka proses pemurnian dapat berlangsung tanpa melalui tahap dekomposisi tetapi dari tahap degradasi langsung ke tahap pemulihan.

Tahap keempat adalah tahap air sungai bersih. Tahap ini ditandai dengan air yang jernih, kadar oksigen tinggi, keanekaragaman spesies meningkat karena pemanfaatan zat hara yang stabil.

Tolok ukur substansi organik yang dapat terbiodegrasi dinyatakan dalam BOD (kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam proses biokimia). Makin besar BOD suatu limbah semakin besar pula kandungan substansi organiknya. Apabila keempat tahap proses pemulihan dinyatakan dalam BOD, maka kadar BOD di bagian hilir akan menjadi berkurang. Proses keseluruhan ini dapat dijelaskan pada gambar 2.7.

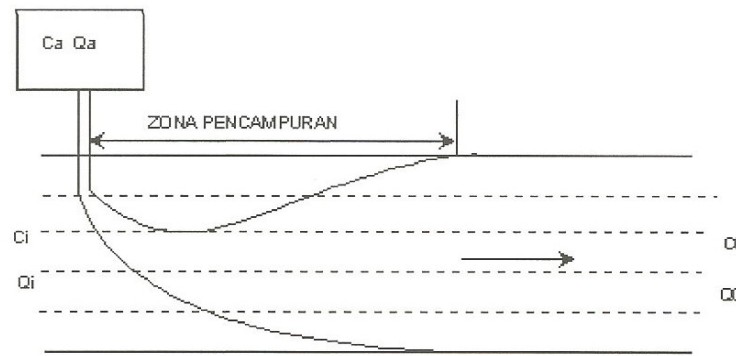


Gambar 2.7 : Grafik perilaku BOD dan DO di badan air akibat masuknya beban limbah (Sumber : Chapra, 1997)

#### 2.2.4 Pencampuran dan Pengenceran

Apabila suatu saluran menyambung limbah cair ke dalam sungai, maka proses pencampuran secara fisik dan pengenceran akan segera terjadi. Pencampuran tersebut tidak mungkin langsung sempurna di dekat saluran, tetapi akan membentuk kurva (plume) seperti pada gambar 2.8.





Gambar 2.8: Profil pengenceran pencemaran dari titik saluran pembuangan limbah (Sumber : Nathason, 1986)

Panjang zona pencampuran bergantung pada geometri sungai, kecepatan aliran sungai dan desain saluran pembuangan. Dalam pengendalian pencemaran air, prinsip pengenceran ini sering di gunakan untuk memperkirakan kadar BOD dan oksigen terlarut di bagian hilir saluran pembuangan. Dengan anggapan bahwa limbah tercampur sempurna, maka konsentrasi pengenceran setiap parameter dihitung dengan rumus:

$$C_d = \frac{C_s Q_s + C_l Q_l}{Q_s + Q_l} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- $C_d$  = konsentrasi pengenceran
- $C_s$  = konsentrasi bagian hulu sebelu saluran
- $C_l$  = konsentrasi limbah
- $Q_s$  = debit air sungai
- $Q_l$  = debit limbah

#### 2.2.4.1 Baku Mutu Air Sungai

Batas atau baku mutu air sungai telah diatur di PP No 82 tahun 2001 dan KepGub KDKI Jakarta No 582 tahun 1995 yang dapat dilihat pada table berikut

Tabel 2.7 Batas atau baku mutu air sungai yang diatur di PP No 82 tahun 2001 dan KepGub KDKI Jakarta No 582 tahun 1995

No	Peraturan	Golongan/Kelas Sungai	Parameter	Nilai	Satuan
1	Kepgub KDKI Jakarta No. 582 tahun 1995 Penetapan Peruntukkan dan Baku Mutu Air Sungai	Sungai Golongan B	BOD	10	mg/L
			DO	>3	mg/L
2	PP No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air	Sungai Golongan D	BOD	20	mg/L
			DO	>3	mg/L
		Kelas I	BOD	2	mg/L
			DO	>6	mg/L
		Kelas II	BOD	3	mg/L
			DO	>4	mg/L
		Kelas III	BOD	6	mg/L
			DO	>3	mg/L
		Kelas IV	BOD	12	mg/L
			DO	>0	mg/L

### 2.2.5 Pemodelan Kualitas Air Sungai

Prinsip dasar dari pemodelan kualitas air sungai adalah penerapan neraca massa pada sungai dengan asumsi dimensi 1 dan kondisi pada kehidupan air tersebut (BOD dan DO) untuk mengukur terjadinya pencemaran di badan air. Pada penelitian ini pemodelan air sungai yang digunakan adalah QUAL2E. Model QUAL2E digunakan karena dapat mensimulasi 15 jenis pencemar (dapat dilihat pada tabel 2.8) dan tidak diperlukannya data banyak. Hal ini mengingat minimnya data yang tersedia di Provinsi DKI Jakarta.

Model QUAL2E membagi suatu aliran sungai dalam bentuk segemen-segmen atau reaches yang memiliki perbedaan jarak yang sama dan tiap reachnya memiliki sifat hidrogeometric yang homogen. Setiap ruas sungai dibagi ke dalam sejumlah unsur perhitungan (computational elements), yang masing-masing mengandung kesetimbangan hidrologi (sebagai m<sup>3</sup>/detik), kesetimbangan panas dan suhu (sebagai derajat celcius) dan kesetimbangan massa dalam konsentrasi (mg/liter). Kesetimbangan massa memperhitungkan kehilangan atau penambahan massa melalui proses perpindahan, pembuangan atau pengambilan limbah dari badan sungai serta proses internal seperti reaksi penguaraian senyawa organik. Kesetimbangan massa yang digunakan pada model ini (*sumber Chapra, 1997*) adalah

$$V \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial \left( A_c E \frac{\partial c}{\partial x} \right)}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_c U c)}{\partial x} dx + V \frac{dc}{dt} + s.$$

.....(2.17)

Dimana

$$\begin{aligned} V \frac{\partial c_i}{\partial t} &= \text{Accumulation} \\ - \left( A_c E \frac{\partial c}{\partial x} \right) \frac{dx}{V_i} &= \text{Dispersion} \\ \frac{\partial (A_c U c)}{\partial x} dx &= \text{Advection} \\ V \frac{dc}{dt} &= \text{Kinetic} \\ s &= \text{Eksternal sources / Sinks} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} V \frac{\partial c_i}{\partial t} \\ - \left( A_c E \frac{\partial c}{\partial x} \right) \frac{dx}{V_i} \\ \frac{\partial (A_c U c)}{\partial x} dx \end{aligned}} \right\} \text{Transport}$$

Persamaan 2.17 ini dijabarkan lebih detail menjadi

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{- \left( A_c E \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{i-1} + \left( A_c E \frac{\partial c}{\partial x} \right)_i}{V_i} + \frac{(A_c U c)_{i-1} - (A_c U c)_i}{A_c U c}$$

Acc
In
Out
In
Out

Advection
Dispersion

$$+ \frac{\Gamma_i c_i}{V_i} + \frac{P_i}{V_i} + \frac{S_i}{V_i}$$

First - order
Internal
External

Reactions
source/sin k
sources/si nks

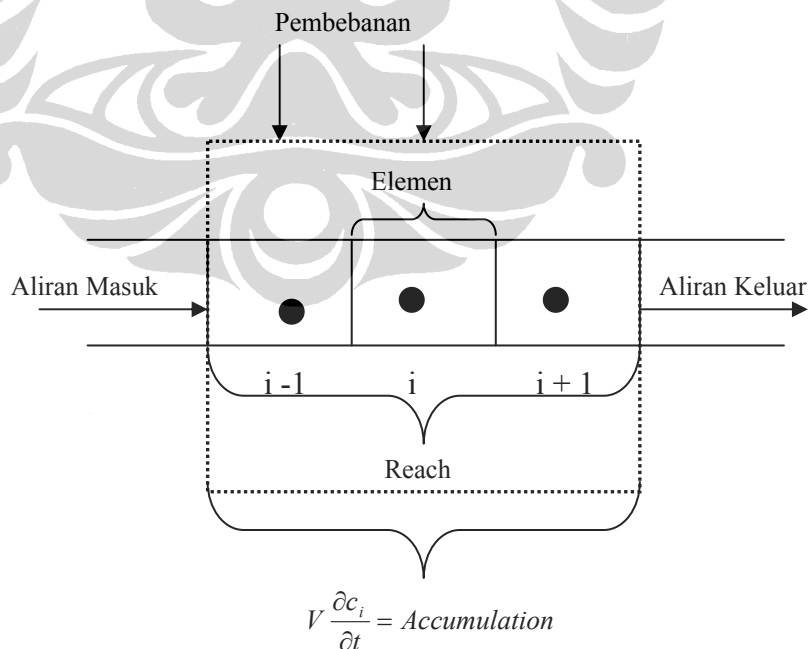
Kemudian dielesaikan dengan backward differences sebagai berikut

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{(A_c E)(c_{i+1}-c_i)}{V_i \Delta x_i} + \frac{(A_c E)(c_{i-1}-c_i)}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_{i-1} c_{i-1} - Q_i c_i}{V_i} + p_i + \frac{s_i}{V_i}$$

$$\frac{c_i^{\ell+1} - c_i^{\ell}}{\Delta t} = \frac{(A_c E)_{i,i+1} (c_{i+1}^{\ell+1} - c_i^{\ell+1})}{Vi\Delta xi} + \frac{(A_c E)_{i-1,i} (c_{i+1}^{\ell+1} - c_i^{\ell+1})}{Vi\Delta xi} + \frac{Q_{i-1,i} (c_{i-1}^{\ell+1} - c_i^{\ell+1})}{Vi\Delta xi} + rici + pi + \frac{si}{Vi}$$

.....(2.18)

Persamaan ini menggambarkan bahwa kualitas air di sungai merupakan interaksi dari faktor debit air (yang diwakili oleh penampang basah aliran), faktor hidrolika (yang direpresentasikan oleh kecepatan aliran air sungai), koefisien dispersi, faktor kimia dan biologi (yang direpresentasikan oleh perubahan internal atau siklus zat) dan faktor antropogenik (yang direpresentasikan oleh sumber polutan), model kualitas air tersebut selanjutnya diselesaikan dengan metode numerik Backwards Difference dan source code model ditulis dalam bahasa pemrograman Fortran. Model dari elemen pada QUAL2E digambarkan pada gambar berikut



Gambar 2.9 Konsep Dasar QUAL2E

Tahapan operasi program QUAL2E melalui serangkaian tampilan (screen) menu yang terdiri dari sub-sub menu. Tahapan operasi program ini dapat dijelaskan pada gambar 2.10 dan detail pengerjaannya adalah sebagai berikut :

#### 2.2.5.1 Qual2e simulation

Sub menu ini memerlukan data sebagai berikut :

- Judul Simulasi
- Tipe Simulasi (steady atau dynamic)
- Unit simulasi (metric atau satuan Inggris)
- Iterasi dan waktu simulasi
- Jumlah ruas sungai

#### 2.2.5.2 Stream reach sistem

Sub menu ini memerlukan input sebagai berikut :

- Nama setiap ruas
- Kilometer awal dan akhir ruas sungai
- Definisi Headwater
- Definisi jarak elemen perhitungan

#### 2.2.5.3 Computational element

Sub menu ini berguna untuk melakukan modifikasi elemen perhitungan dengan sifat elemen yang terdiri dari Dam, Point source, standart dan withdrawal

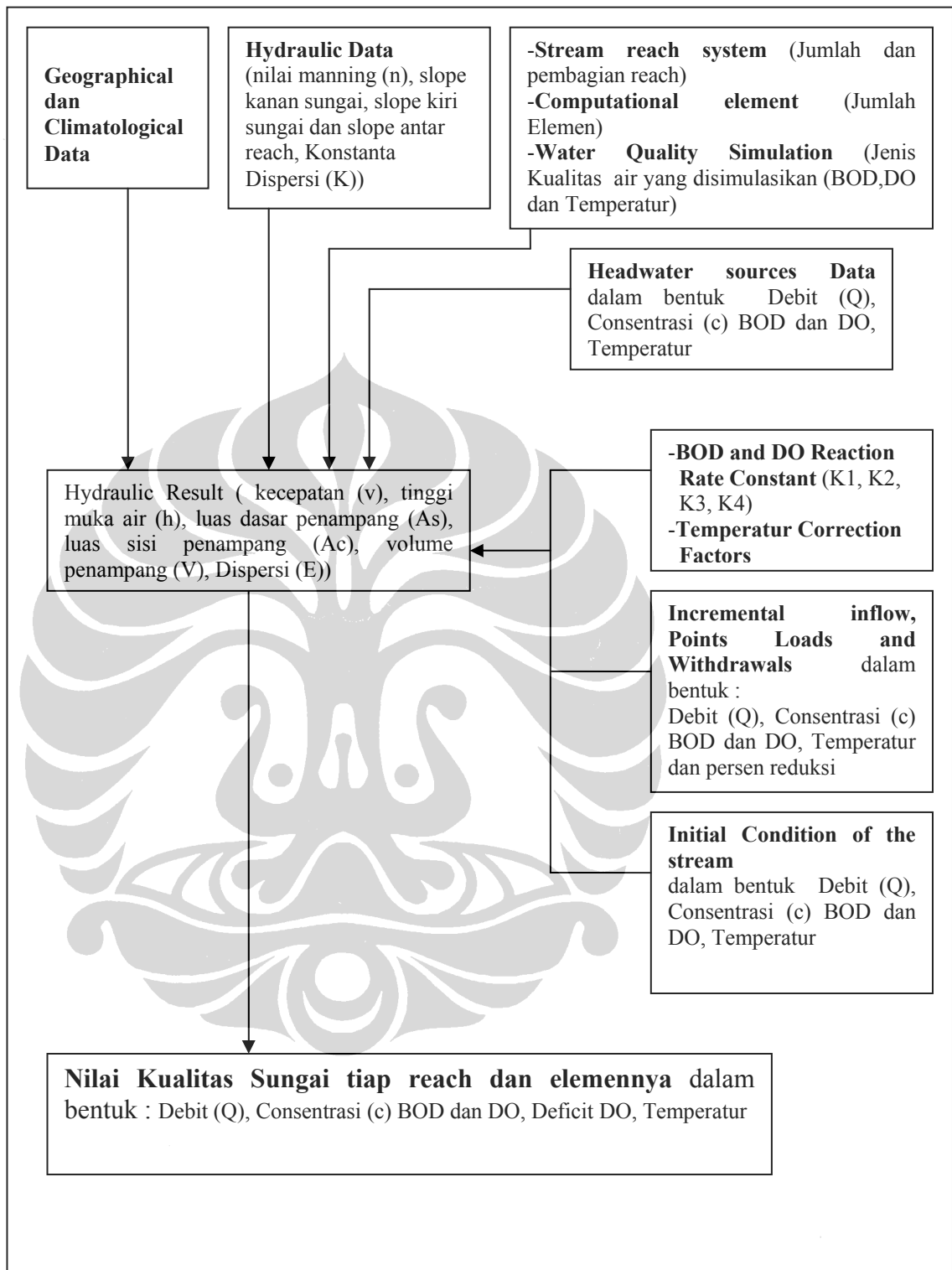
#### 2.2.5.4 Water Quality Simulation

Pada sub menu ini, ditentukan parameter yang akan disimulasikan

Tabel 2.8 15 Jenis pencemar yang dapat disimulasikan dengan model QUAL2E

Dissolved oxygen	Amonia as N	Caliform bacteria
Biochemical oxygen demand	Nitrite as N	Arbitrary noncervative constituent
Temperature	Nitrite as N	Conservatve constituent I
Algae as chlorophyll a	Organic phosphorus as P	Conservatve constituent II
Organic nitrogen as N	Dissolved phosphorus as P	Conservatve constituent III

Sumber : *QUAL2E Interface User's Guide, USEPA 1995*



Gambar 2. 10 Mekanisme perhitungan model QUAL2E

#### 2.2.5.5 Geographical dan Climatological Data

Sub menu ini memerlukan input sebagai berikut :

- posisi garis lintang, garis bujur dan posisi standart meridian
- Ketinggian basin
- Koefisien penyebaran debu, data klimatologi, koefisien evaporasi dan faktor koreksi temperatur
- Pilihan DO dan BOD plot dan pilihan print out Data

#### 2.2.5.6 Temperatur Correction Factors

Sub Menu ini memerlukan input, sebagai berikut :

A. Koreksi Koefisien BOD	B. Koreksi Koefisien DO
- BOD Decay	- DO Reaeration
- BOD Settling	- SOD Uptake

#### 2.2.5.7 Hydraulic Data

Sub Menu ini memerlukan input, sebagai berikut :

- Konstanta Dispersi	- Lebar ruas-ruas sungai
- Angka Manning	- Kemiringan ruas sungai
- Kemiringan tanggul kiri ruas sungai	- Ketinggian rata-rata ruas sungai
- Kemiringan tanggul kanan ruas sungai	- Dust Coefficient
- Kecepatan Angin	- Temperatur bola basah dan bola kering

Perhitungan untuk data hidrolis dilakukan dengan cara sebagai berikut :

##### a. Transport

Transport terdiri dari dua jenis yaitu dispersi dan adveksi. Adveksi pada model ini diasumsikan steady dan aliran tidak seragam. Oleh sebab itu, kesetimbangan aliran dapat ditulis dengan

$$Q_{i-1} \pm Q_{x,i} - Q_i = 0 \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan  $Q_{i-1}$  = flow from the upstrem element

$Q_i$  = outflow from the element

$Q_{x,i}$  = lateral flow into (positive) our out of (negative) the element

Setelah mencapai kesetimbangan aliran, maka diperlukan penentuann karakteristik hidrogeometric pada tiap elemen dimana adanya hubungan antara kecepatan air, kedalaman dan luas area yang dapat diketahui dengan dua cara berikut melalui rumus (sumber : Chapra 1997) yaitu

1. Power Equations

$$\begin{aligned} U &= aQ^b \\ H &= aQ^\beta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana  $H$  = Kedalaman,  
 $a, b, \alpha, \beta$  = Konstanta empiris yang nilainya dapat ditentukan dari kurva stage-discharge rating.

$U$  = Kecepatan

Kemudian, luas area dapat dihitung dari

$$A_c = \frac{Q}{U} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana  $A_c$  = Luas Area arah x

$Q$  = Debit

2. Persamaan Manning

Persamaan ini dapat menghubungkan karakteristik saluran dengan aliran dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{n} A_c R^{2/3} S_e^{1/2} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana  $A_c$  = Luas Area arah x

$Q$  = Debit

$n$  = Angka koefisien kekasaran manning

$R$  = Jari-jari hidrolik

$S_e$  = Slope antar segmen/reach



Sedangkan nilai Manning dapat ditentukan dengan rumus

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana nilai n dijabarkan pada tabel 2.9 berikut

Tabel 2.9 Nilai Koefisien Kekasaran dihitung dengan rumus (2.19)

Keadaan Saluran		Nilai-nilai	
Bahan Pembentuk	Tanah	no	0.020
	Batu pecah		0.025
	Kerikil halus		0.024
	Kerikil kasar		0.028
Derajat Ketidakteraturan	Sangat kecil	n1	0.000
	Sedikit		0.005
	Sedang		0.100
	Besar		0.020
Variasi penampang melintang saluran	Bertahap	n2	0.000
	Kadang-kadang berganti		0.005
	Sering berganti		0.010-0.015
Efek relatif dari hambatan	Dapat diabaikan	n3	0.000
	Kecil		0.10-0.015
	Cukup		0.020-0.030
	Besar		0.040-0.060
Tertumbuhan	Rendah	n4	0.005-0.010
	Sedang		0.010-0.025
	Tinggi		0.025-0.050
	Sangat tinggi		0.050-0.100
Derajat kelokan	Kecil	m5	1.000
	Cukup		1.150
	Besar		1.300

(Sumber : Ven Te Chow)

Dengan no nilai dasar n untuk saluran yang lurus, seragam dan halus menurut bahan-bahan, alamiah yang dikandungnya, n1 nilai yang ditambahkan ke no untuk mengoreksi efek ketidakteraturan permukaan, n2 nilai untuk variasi bentuk dan ukuran penampang saluran, n3 nilai untuk hambatan, n4 untuk kondisi tetumbuhan dan aliran dan m faktor koreksi bagi belokan-belokan saluran

### 3. Dispersi

Sedangkan dispersi digunakan untuk menentukan fungsi dari karakteristik saluran dengan rumus (sumber : Chapra 1997)

$$E = 3.11KnUH^{5/6} \dots\dots\dots(2.24)$$

- dengan  $E$  = longitudinal dispersion coefficient ( $M^2s^{-1}$ )
- $n$  = channel's roughness coefficient (dimensionless)
- $H$  = mean depth (m)
- $K$  = a dispersion parameter (dimensionless)

$$K = \frac{E}{HU^*} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana  $U^* =$  shear velocity (m/s)

#### 2.2.5.8 BOD and DO Reaction Rate Constant

Sub menu ini memerlukan input, sebagai berikut :

- BOD Decay (1/day)
- BOD Settling (1/day)
- SOD Rate (g /m2-day)
- Type Reaeration
- Reaeration Coefficient /  $K_2$  (8 tipe pilihan)

Perhitungan untuk data tersebut diatas dilakukan dengan cara sebagai berikut

Pada konstituen BOD dan DO, kinetiknya dapat representasikan secara matematik sebagai berikut

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\frac{do}{dt} = K_2(os - o) - K_1L - \frac{K_4}{H} \dots\dots\dots (2.27)$$

- Dengan :  $L$  = carbonaceous BOD ( $mg L^{-1}$ )
- $K_1$  = BOD decomposition rate ( $d^{-1}$ )
- $K_3$  = BOD settling rate ( $d^{-1}$ )
- $O$  = dissolved oxigen concetration ( $mg L^{-1}$ )
- $K_2$  = reaeration rate ( $d^{-1}$ )
- $Os$  = dissolved oxygen saturation concetration ( $mg L^{-1}$ )
- $K_4$  = sediment oxygen demand ( $g m^{-2} d^{-1}$ )

Semua nilai K tergantung dengan temperature sehingga konversi temperature dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$K = K_{20} \theta^{t-20} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana  $K$  = rate at temperature  $T$   
 $K_{20}$  = rate at  $20^{\circ}C$   
 $\theta$  = temperature corrections factor

2.4.5.9.1 BOD decomposition rate dan BOD settling rate ( $K_1$  dan  $K_3$ )

Wrught dan McDonnell (1979) melakukan penelitian pada 23 sungai dan juga di laboratorium dan menghasilkan nilai BOD decomposition date pada nilai 0.08 hingga 4.24 per hari, dengan debit 4.6 hingga 8760 cfs dan jari-jari hidrolik 11.8 sampai 686 feet dan menghasilkan rumusan sebagai berikut :

$$K_1 = 10.3 Q^{-0.49} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana  $Q$  = debit dalam satuan cfs

Nilai  $K_3$  diperoleh dari rumus sebagai berikut

$$K_3 = \frac{vs}{H} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana  $vs$  = Settling velocity (m/day)  
 $H$  = Kedalaman (m)

Nilai  $vs$  diperoleh dengan menggunakan rumus stokes sebagai berikut :

$$V_s = \alpha \frac{g}{18} \left( \frac{\rho_s - \rho_w}{\nu} \right) d^2 \dots\dots\dots (2.31)$$

Rumus ini disederhanakan oleh Thommann dan Mueller (1987) menjadi

$$V_s = 0.033634 \alpha (\rho_s - \rho_w) d^2 \dots\dots\dots (2.32)$$

Dimana  $V_s$  = settling velocity (m/hari)  
 $\rho_s$  dan  $\rho_w$  = densitas partikel dan air ( $g/cm^3$ )  
 $d$  = diameter efektif partikel  
 $\alpha$  = bentuk partikel

viskositas air diasumsikan memiliki nilai yang tetap yaitu 0.014 g/cm/detik..

### 2.4.5.9.2 Reaeration rate $K_2$

Dalam perhitungan QUAL2E diperlukan perhitungan laju reaerasi yang dapat dihitung dengan beberapa cara pada tabel berikut ini

Tabel 2.10 Cara perhitungan laju aerasi

Option	Author (S)	$K_2(d^{-1} \text{ at } 20^\circ C)$	Units
1	User-specified		
2	Churchill et al (1962)	$5.03 \frac{U^{0.969}}{H^{1.673}}$	$\bar{U}(ms^{-1})$ $H(m)$
3	O'Connor and Dobbins (1958)	$3.95 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}}$	$\bar{U}(ms^{-1})$ $H(m)$
4	Owens et al. (1964)	$5.34 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}}$	$\bar{U}(ms^{-1})$ $H(m)$
5	Thackston and Krenkel (1966)	$24.9 \frac{(1 + \sqrt{f})u}{H}$ where $F$ is the Froude number $F = \frac{u}{\sqrt{gH}}$ and $u$ is the shear velocity $u = \sqrt{HS_e g} = \frac{U_n \sqrt{g}}{H^{1.67}}$	$F$ (dimensionless) $u^*(ms^{-1})$ $H(m)$ $\bar{U}(ms^{-1})$
6	Langbien and Durum (1967)	$5.13 \frac{U}{H^{1.33}}$	$H(m)$ $\bar{U}(ms^{-1})$
7	User-specified power function	$aQ^b$	$Q(cms)$
8	Tsivoglou and Wallace (1972)	$c \frac{\Delta H}{t}$	$c^{(m-1)}$ $\Delta H(m)$ $tj(d)$
9	Tsivoglou and Neal (1976)	Where $\Delta$ is change in water-surface elevation in the element, $tj$ is the flow time in the element. And $c$ is a flow-dependent escape coefficient: $c = 0.36$ for $0.028 \leq Q \leq 0.28$ cms $c = 0.177$ for $0.708 \leq Q \leq 85$ cms	

(sumber : Chapra 1997)

Beberapa syarat pemilihan jenis laju aerasi adalah sebagai berikut

Tabel 2.11

Syarat untuk pemakaian jenis laju aerasi O'Connor-Dobbins, Churchill, and Owens-Gibbs formulas for stream reaeration

Paremeter O'Connor	Dobbins Churchill Owens	Gibbs	Paremeter O'Connor
Depth, m ft	0.30-9.14 1-30	0.61-3.35 2-11	0.12-0.73 0.4-2.4
Velocity, mps fps	0.15-0.49 0.5-1.6	0.55-1.52 1.8-5	0.03-0.55 0.1-1.8

(sumber : Chapra 1997)

#### 2.4.5.9.3 SOD rate ( $K_4$ )

Dalam menentukan  $K_4$  atau SOD dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2.12 Nilai SOD dalam  $g/m^2/hari$

Bottom type and location	S'B, 20 ( $g/m^2/d$ )	
	Average value	Range
<i>Sphaerolitus</i> (10 g-dry wt / $m^2$ )	0.065	0.13
Municipal sewage sludge : - Outfall vicinity - Downstream of outfall, "aged"	0.13	0.26
Estuarine mud	0.65	1.3
Sandy bottom	1.3	2.6
Minerals Soil	6.5	13
Areal hypolimnetic oxygen demand (AHOD)	13	26

(sumber : Chapra 1997)

#### 2.2.5.9 Initial Condition of the stream

Sub menu ini memerlukan input data temperatur, BOD dan DO.

#### 2.2.5.10 Incremental inflow

Sub menu ini menggambarkan beban yang bersifat difusi dan perlu data isian dari data Debit Inflow, Temperatur, BOD dan DO.

#### 2.4.5.12 Head Water Source Data

Sub menu ini memerlukan dan menggambarkan debit sungai dan nilai awal kualitas air, dan data yang perlu di masukkan adalah Debit Inflow, Temperatur BOD dan DO.

#### 2.4.5.13 Points Loads and Withdrawals

Sub menu ini menggambarkan beban polusi yang bersifat point sources dan memerlukan data masukkan debit limbah dan kualitas limbah cair, terdiri dari :

- Nama institusi pembuang limbah
- Prosentase Treatment
- Debit limbah cair
- Temperatur, BOD dan DO

#### 2.4.5.14 Global Values of Climatology Data

Sub menu ini memerlukan data sebagai berikut :

- Bulan, tanggal, tahun dan jam Simulasi
- Radiasi matahari
- Cloud
- Temperatur bola basah dan kering
- Tekanan udara dan Kecepatan angin

Berkaitan dengan ruas, elemen komputasi dan sifat elemen komputasi, Program QUAL2E mempunyai keterbatasan sebagai berikut :

- Maksimum jumlah ruas = 25
- Maksimum jumlah elemen komputasi setiap ruas = 20
- Maksimum jumlah Elemen Komputasi Total (seluruh ruas) = 250
- Maksimum jumlah elemen Head Water = 7
- Maksimum jumlah elemen Junction = 6
- Maksimum jumlah elemen Points load = 25