

MODEL OPTIMASI LAJU PENURUNAN BOD PADA  
SUNGAI TALLO DENGAN METODE PROGRAM LINEAR  
(TORA)

Oleh,

ARHAM  
H 311 98 004



Tgl. Terima	12/01/04
Asal Dari	Fale - Mipa
Banyaknya	1 (satu) eksemplar
Harga	Hadiah
No. Inventaris	0401012 229
No. Klas	17666

JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2003

# **Model Optimasi Laju Penurunan BOD Pada Sungai Tallo dengan Metode Program Linear (TORA)**

Oleh  
**A R H A M**  
**H 311 98 004**

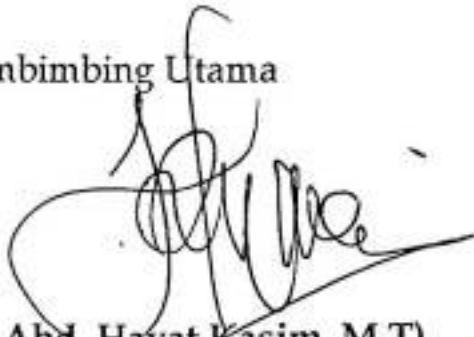
**Skripsi ini untuk melengkapi tugas akhir  
dan sebagai syarat untuk memperoleh  
gelar sarjana**

**Jurusan Kimia  
Fakultas matematika dan Ilmu pengetahuan alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar  
2003**

# Model Optimasi Laju Penurunan BOD Pada Sungai Tallo Dengan Metode Program Linear (TORA)

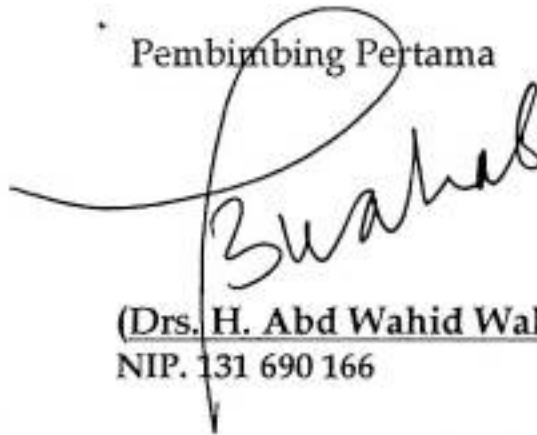
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Utama



(Ir. Abd. Hayat Kasim, M.T)  
NIP. 131 876 906

Pembimbing Pertama



(Drs. H. Abd Wahid Wahab, MS)  
NIP. 131 690 166

Makassar, Januari 2004

## KATA PENGANTAR

Assalamu 'Alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah, yang berkat nikmat-Nya sempurnalah segala kebajikan. Tiada kata yang layak dan pantas penulis ucapkan kecuali syukur alhamdulillah ke-hadirat Allah SWT, karena atas limpahan kasih sayang dan karunia-Nya hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan karya ini.

Begitu banyak suka dan duka yang mewarnai kehidupan penulis dalam menuntut ilmu di Universitas tercinta ini. Begitu banyak pengorbanan, keringat dan doa dari orang-orang yang selalu mengharapkan keberhasilan penulis. Kepada Ayahanda Basri B. dan Ibunda Hj. Hasmah Rahim terimalah sembah sujud dan rasa terima kasih yang tak terhingga dari ananda. Kalianlah yang selalu menjadi semangat ananda dalam menapaki langkah demi langkah kehidupan ini. Pelita hidup ananda di dalam kegelapan. Sungguh ananda tahu perjuangan kalian, dan setiap nafas dan denyut jantung yang diberikan oleh Allah, ananda tak akan pernah melupakannya. Kepada Adinda Achriani, Rahmi Atmalinda, Rima Armila dan Arie Rosman, terima kasih telah menjadi saudara yang baik bagi penulis serta kakakku yang begitu setia selalu menemaniku dalam suka dan duka Syaefullah terima kasih atas dukungannya dan bantuannya.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan Karya ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak baik berupa bimbingan, motivasi, fasilitas, bantuan,

perhatian, doa dan segala macam kebaikan mereka yang oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Ir. Abd. Hayat Kasim, MT. selaku pembimbing utama dan Bapak Drs. H. Abd. Wahid Wahab, MS. selaku pembimbing pertama. Karya ini tidak akan tercipta tanpa bimbingan Bapak.
2. Bapak Drs. H. Yusafir Hala, MSi., Ibu Dra. Hj. Hasnah Natsir, MSi., Bapak Drs. Hanapi Usman, MS., dan Bapak Drs. Beddu Jawahir, MS. Terima kasih atas lowongan waktu dan pemikirannya.
3. Bapak DR. Ir. Prastawa Budi, selaku ketua Jurusan Kimia F.MIPA-UH serta Bapak dan Ibu dosen yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu. Ilmu yang kalian berikan merupakan bekal penulis dalam meraih masa depan.
4. Ibu DR. Ir. Mary Selintung, MSc. Selaku Kepala Laboratorium Penyehatan Lingkungan Jurusan Sipil Fakultas teknik Unhas, yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian pada laboratorium Penyehatan Lingkungan.
5. Teman-teman angkatan '98 (Agus, Ahmad, Basnur, Firman, Gunawan, Miswar, Yusri, Ewin, Udin, Jupe, Alam, Anas, Nasruddin, Wayan, Itha, Yayiek, Kia, Riche, Ninna, Rina, Mia, Yuli, Ida, Iin, Asri, Sri, Farida, Tini, Ode, Imhe, Novi, Lela, Lia, Yori, dan Fince). Sungguh banyak kenangan di antara kita kawan. Semoga pertemanan kita tetap abadi.

6. Khusus buat adik Rima Melati Mansyur terima kasih atas semangat dan kasih sayangnya.
7. Adik-adik mahasiswa kimia angkatan '99 - '03, dan teman-teman dari Biologi (Adhi, Andhys, Gina, Mala, Asnur dan Ani) atas canda dan tawanya yang menghiasi kebersamaan kita

Demikianlah karya ini penulis buat dengan harapan dapat digunakan dan dimanfaatkan bagi yang membutuhkannya. Selamat tinggal strata I ,selamat datang masa depan.

Wassalamu 'Alaikum Wr. Wb.

Makassar, Januari 2004

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
ABSTRAK .....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Maksud Penelitian.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Model Kualitas Air .....	4
B. Dasar-Dasar Pengolahan Biologis.....	6
C. Uraian Tentang Kebutuhan Oksigen Biokimiawi.....	9
1. Defenisi Kebutuhan Oksigen Biokimiawi.....	10

2. Prinsip Analisis BOD.....	11
3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Analisis BOD .....	14
a. Proses Nitrifikasi.....	14
b. Zat Beracun.....	15
c. Kemasukan Oksigen Pada Botol BOD.....	16
d. Kekurangan Nutrien .....	16
D. Optimasi .....	16
1. Metode Optimasi Program Linear .....	18
2. Formulasi Model Program Linear.....	19
E. Pencemaran Pada Sungai .....	21
F. Uraian Umum Tentang Air Limbah Industri .....	22
1. Sifat-Sifat Air Limbah Industri .....	23
a. Sifat Fisik Air Limbah .....	23
b. Sifat Kimia Air Limbah.....	25
c. Sifat Biologi Air Limbah .....	28
2. Komposisi Air Limbah.....	29
a. Pencemaran Organik.....	30
b. Parameter Pencemaran Organik.....	33
G. Oksigen Terlarut Sebagai Parameter Model Pengelolaan Kualitas	
Air .....	36
1. Sumber Penambahan Oksigen Terlarut .....	36



2. Sumber Penurunan (Sink) Oksigen Terlarut .....	38
3. Model Oksigen SagStreeter-Phelps .....	39

### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian .....	43
B. Cara Pengambilan Sampel Air .....	43
C. Alat Dan Bahan .....	44
1. Alat-Alat Yang Digunakan .....	44
2. Bahan-Bahan Yang Digunakan .....	44
a. Pembuatan Larutan Induk $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1N .....	45
b. Pembuatan Larutan Induk $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025N .....	45
D. Metode Penentuan DO .....	46
1. Persiapan Benda Uji .....	46
2. Cara Uji .....	47
3. Perhitungan .....	48
E. Metode Penentuan BOD .....	48
1. Persiapan Larutan Uji .....	48
2. Cara Uji .....	49
3. Perhitungan .....	49
F. Penentuan $K'2$ (Koefisien Reaerasi) .....	50
G. Penentuan $K'$ (Koefisien Deoksigenasi) .....	50
H. Penentuan Suhu, Kecepatan Arus dan Debit Sungai .....	51

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian.....	53
a. Data Karakteristik Air Buangan .....	53
b. Data Karakteristik Sungai Tallo.....	54
B. Penyelesaian Dan Pembahasan hasil Penelitian .....	55

## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	63
B. Saran .....	63

DAFTAR PUSTAKA .....	65
----------------------	----

LAMPIRAN .....	67
----------------	----

## DAFTAR TABEL

### Halaman

Tabel 1. Data Debit, BOD dan DO Air Buangan dari Tiap Anak Sungai Yang Masuk Ke Sungai Tallo .....	53
Tabel 2. Data Karakteristik Sungai Pada Tiap Segmen.....	54
Tabel 3. Input Data Untuk Segmen I.....	58
Tabel 4. Input Data Untuk Segmen II .....	58
Tabel 5. Input Data Untuk Segmen III.....	59
Tabel 6. Solusi Optimum Untuk Segmen I.....	59
Tabel 7. Solusi Optimum Untuk Segmen II.....	60
Tabel 8. Solusi Optimum Untuk Segmen III.....	61

## DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar I. Skema Pengelompokan Bahan Yang Terkandung Di Dalam Air	
Limbah.....	30
Gambar 2. Model Plug-Flow yang Digunakan Dalam Analisis Sungai.....	40
Gambar 3. Penampang Melintang Sungai.....	43



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Bagan Kerja Penelitian.....	67
Lampiran 2. Peta Sungai Tallo .....	68

## ABSTRACT

Biochemical Oxygen Demand (BOD) is one of significantly important in parameter assessing the water quality. These parameter is a major indicator to know the degree of pollution as result of accumulations organic materials in wastewater. The value of this BOD<sub>5</sub> was determined based on the measurement of difference in amount of oxygen dissolved (mg/L) in the water samples before and after the incubation process under an aerobic condition in 20 °C temperature using Winkler titration methods. The value of polluted BOD then entered in optimalization or TORA Program that based to oxygen of Sag Streeter - Phelps equation. The result of optimalization value for first segment was 0%, the second segment was 35% and the third segment was 35%. These are decision value for processing grade in every segment from Tallo's river.

## ABSTRAK

Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD) merupakan salah satu parameter yang amat penting dalam pemantauan kualitas air. Parameter ini adalah salah satu indikator untuk mengetahui tingkat pencemaran akibat adanya bahan-bahan organik pada air limbah. Penentuan nilai BOD<sub>5</sub> didasarkan pada pengukuran Selisih jumlah oksigen terlarut (mg/L) dari contoh air sebelum dan sesudah inkubasi secara aerasi pada suhu 20 °C dengan metode titrasi Winkler. Nilai BOD tercemar dimasukkan pada suatu program optimalisasi (TORA) yang didasarkan pada persamaan oksigen Sag Streeter - Phelps sehingga memperoleh nilai optimalisasi berturut-turut untuk segmen pertama adalah 0%, segmen kedua 35% dan segmen ketiga 35%, yang merupakan nilai keputusan untuk tingkat pengolahan pada tiap segmen dari sungai Tallo.

# BAB I

## PENDAHULUAN



### A. Latar Belakang

Peningkatan aktivitas industri belakangan ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan taraf hidup masyarakat. Namun peningkatan tersebut memiliki dampak kerusakan yang cukup besar terhadap kualitas lingkungan hidup baik yang berada di sekitar industri maupun yang jauh dari pusat industri, khususnya pada lingkungan perairan, yang merupakan akibat dari belum sempurnanya penanganan limbah industri.

Lingkungan perairan seperti sungai, sering dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan limbah industri, rumah tangga, kegiatan pertanian dan perikanan, di samping kegunaannya sebagai sumber air minum, mandi, cuci dan jalur transportasi. Pada saat kepadatan penduduk dan perkembangan industri belum tinggi, limbah yang dialirkan ke sungai belum menimbulkan masalah, sebab masih dalam batas daya dukung sungai tersebut. Tetapi akibat akselerasi pertumbuhan penduduk dan industri yang cepat, pembuangan limbah ke sungai sudah menimbulkan masalah karena terlampauinya daya dukung ekosistem. Pada dasarnya sungai memiliki kemampuan membersihkan diri sendiri, dalam arti mampu menetralkan zat-



zat pencemar yang masuk. Akan tetapi karena perkembangan penduduk dan industri yang cepat, beban pencemar yang ditanggung oleh sungai melebihi kemampuannya untuk membersihkan diri, sehingga terjadilah pencemaran (Herawati, 2000).

Limbah cair yang masuk ke dalam sungai memiliki kandungan bahan kimia yang dapat mempengaruhi kondisi sungai tersebut dengan adanya bantuan jasad renik yang ada dalam limbah cair. Jasad renik tersebut akan menggunakan oksigen yang terlarut dalam air sungai untuk mengoksidasi bahan organik menjadi bahan yang lebih stabil. Apabila jumlah oksigen yang terlarut tidak seimbang dengan kebutuhan mikroorganisme, maka kadar oksigen terlarut akan berkurang sampai mencapai titik nol dan dapat berakibat terhadap kehidupan makhluk hidup dalam air sungai akan terganggu.

Olehnya itu dilakukan pengukuran kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik di dalam air sungai yang dikenal sebagai BOD (Kebutuhan Oksigen Biokimiawi). Besarnya angka BOD ini menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah semakin besar. Metode penentuan nilai BOD yang digunakan sebagai acuan ialah *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* yang dipublikasikan oleh *American Public Health Association (APHA)*, sehingga dengan adanya informasi tentang

laju penurunan kebutuhan oksigen biokimiawi ini memungkinkan untuk menurunkan beban pencemar pada air sungai dengan melakukan input nilai BOD air sungai pada suatu metode program linear (TORA) untuk memperoleh nilai optimum dari nilai BOD yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kualitas air sungai.

## **B. Maksud Penelitian**

Mempelajari penerapan program linear (TORA) pada laju penurunan kebutuhan oksigen biokimiawi akibat air limbah yang dibuang ke sungai Tallo untuk menjadikannya memenuhi persyaratan untuk dibuang ke lingkungan sungai.

## **C. Tujuan Penelitian**

1. Menentukan angka kebutuhan oksigen biokimiawi sungai Tallo.
2. Menentukan tingkat pengolahan optimum air sungai Tallo dengan program linear.

## **D. Manfaat Penelitian**

1. Memberikan informasi yang penting bagi pihak industri dalam memperbaiki proses pengolahan limbahnya sebelum dibuang ke sungai.
2. Memberikan informasi tentang kemungkinan pemanfaatan kembali air limbah yang telah diolah untuk bidang perikanan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Model Kualitas Air

Dalam analisis pada sistem sumber daya air umumnya digunakan model matematis. Model merupakan abstraksi dan penyederhanaan dari keadaan sebenarnya atau dunia nyata. Model memegang peranan penting dalam proses perencanaan dan proses pengambilan keputusan. Model-model kualitas air dibuat untuk mengikuti gerakan zat pencemar pada lingkungan perairan. Umumnya model-model kualitas air merupakan perluasan dari persamaan matematis yang dikembangkan oleh Streeter dan Phelps untuk mengetahui perubahan BOD dan DO dalam air yang mengalir (Clarck, 1977).

Penggunaan lebih lanjut dari model matematis adalah dalam pembentukan model optimasi pengelolaan kualitas air, yang merupakan gabungan antara model matematis dan teknik-teknik optimasi. Model optimasi berguna dalam proses pengambilan keputusan di mana banyak alternatif yang dapat dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu. Proses optimasi memerlukan penetapan suatu tujuan yang dapat dikuantifikasikan. Pada umumnya tujuan dikaitkan dengan ketentuan ekonomi seperti memaksimalkan manfaat atau meminimumkan biaya (Herawati, 2000).

Pada perencanaan kualitas air, identifikasi dan evaluasi dari sejumlah alternatif pengelolaan dilakukan untuk memenuhi tujuan ekonomi dan tujuan kualitas air. Tujuan ekonomi sering dinyatakan dalam istilah minimasi biaya dan distribusi biaya di antara pihak-pihak yang terkait. Biaya dalam hal ini termasuk biaya dalam membangun fasilitas untuk menurunkan beban pencemar atau untuk meningkatkan kualitas air dari bahan air. Sedangkan tujuan kualitas air dinyatakan dalam bentuk baku mutu limbah cair atau baku mutu badan penerima (Herawati, 2000).

Usaha pertama untuk menerapkan program matematis pada masalah pengelolaan kualitas air dilakukan oleh Deininger. Model program linear dibentuk dengan menggunakan berbagai pendekatan persamaan untuk menggambarkan profil oksigen terlarut sungai. Model program dinamis disajikan oleh Liedman dan Lynn untuk mempelajari masalah yang sama. Thomann dan Sobel mengembangkan model program linear untuk masalah yang sama pada muara sungai, dengan mengembangkan model matematis dengan metode finite element untuk menggambarkan dispersi BOD dan DO yang diterapkan pada sungai Cho Praya di Thailand. Model pengelolaan kualitas air dikembangkan untuk menghitung beban BOD maksimum yang boleh dimasukkan dalam tiap segmen sungai, yang masih dapat memenuhi

baku mutu DO yang ditentukan. Model optimasi untuk beban BOD tersebut diselesaikan dengan program linear (Lohani, 1980).

Revelle dkk. (1968), mengembangkan model program linear untuk pengelolaan kualitas air yang diterapkan pada Willamette River di Oregon. Tujuan dari model tersebut adalah menentukan efisiensi pengolahan BOD air buangan yang akan mencapai baku mutu oksigen terlarut dalam sungai pada biaya yang minimum. Biaya tiap unit efisiensi dalam kasus tersebut telah diketahui. Sebagai kendala adalah kekurangan oksigen yang dibolehkan (DO jenuh-DO standar) dan kendala teknologi pengolahan yang dapat dilakukan.

#### **B. Dasar-dasar pengolahan biologis**

Degradasi limbah secara biologis merupakan proses yang berlangsung secara alamiah. Sistem biologis yang terkendali dan tak terkendali merupakan sistem utama yang digunakan untuk menangani limbah organik. Sistem ini mungkin menangani limbah cair atau padat, mungkin aerobik atau anaerobik atau fakultatif. Contoh proses penanganan biologis yaitu kolam oksidasi, lagun aerasi, lagun anaerobik, digester anaerobik, pembuatan pupuk dan penimbunan lahan (Jenie, 1993).

Oksigen memegang peranan yang penting dalam sistem penanganan biologis karena apabila oksigen bertindak sebagai akseptor hidrogen akhir, mikroorganisme akan memperoleh energi minimum antara 0,2 - 0,6 mg/l.

konsentrasi oksigen terlarut dalam unit penanganan aerobik harus dijaga di atas 1,0 mg/l (Jenie, 1993).

Aerasi dipergunakan dalam berbagai variasi operasi seperti tambahan oksigen untuk mengoksidasikan besi dan mangan terlarut, pembuangan karbondioksida, pembuangan hidrogen sulfida untuk menghilangkan bau dan rasa yang dikeluarkan oleh ganggang serta mikroorganisme lain. Jenis-jenis utama aerasi adalah aerator gaya berat seperti kaskade air terjun atau bidang-bidang miring. Aerator semprotan atau air mancur digunakan dengan cara air disiramkan ke udara, penyebar suntikan digunakan dengan cara udara dalam bentuk gelembung-gelembung kecil disuntikkan ke dalam zat cair dan aerator mekanis yang meningkatkan pencampuran zat cair serta membuat air terbuka ke atmosfer dalam bentuk butiran-butiran tetesan. Metode tertentu yang digunakan tergantung pada jenis bahan yang harus dibuang serta tujuan yang harus dicapai (Linsley, 1985).

Proses memasukkan udara atau oksigen murni ke dalam air limbah dapat juga dilakukan melalui benda porous atau nozzle. Apabila nozzle diletakkan di tengah-tengah, maka akan meningkatkan kecepatan kontak antara gelembung udara tersebut dengan air limbah, sehingga proses pemberian oksigen akan berjalan lebih cepat. Oleh karena itu, biasanya nozzle ini diletakkan pada dasar bak aerasi. Udara yang dimasukkan berasal

dari udara luar yang dipompakan ke dalam air limbah oleh sumber arus listrik (Sugiharto, 1987).

Lagun aerasi berbeda dari kolam oksidasi, yang mempertahankan kondisi aerobik dengan peralatan aerasi mekanik atau terdifusi. Umumnya lagun adalah wadah yang terbuat dari tanah liat yang dilindungi bagian sisinya dari gerakan gelombang yang disebabkan oleh unit aerasi (Jenie, 1993).

Parameter utama yang harus dievaluasi untuk rancangan unit aerasi ini adalah laju reaksi biologis dalam lagun aerasi, pengaruh suhu terhadap laju reaksi, kebutuhan oksigen, sintesis dan oksidasi padatan dalam lagun, kebutuhan pengadukan, seerta keseimbangan pH dan nutrisi (Jenie, 1993).

Keuntungan utama dari lagun aerasi adalah perpindahan oksigen yang kontinyu oleh alat aerasi. Suplai oksigen yang kontinyu ini membuat unit dapat menangani lebih banyak limbah per unit volum per hari. Lagun aerasi telah digunakan untuk memperbaiki mutu efluen dari kolam oksidasi yang bebannya berlebihan, menghilangkan gangguan terhadap kondisi unit, menggunakan lahan yang lebih ekonomis, dan dapat menangani limbah tanpa penanganan terlebih dahulu (Jenie, 1993).

Lagun aerasi adalah unit penanganan biologis yang encer, teraduk dengan baik, bekerja tanpa daur ulang padatan dan mempunyai waktu

detensi antara 1 -10 hari tergantung muatan dan mutu efluen yang diinginkan. Pengadukan cukup untuk mendistribusikan oksigen ke seluruh unit penanganan tetapi mungkin tidak cukup untuk menjaga seluruh padatan berada dalam bentuk suspensi. Peralatan aerasi harus dirancang untuk memberikan jumlah oksigen yang dibutuhkan dan untuk menjaga deposisi padatan dalam unit seminimum mungkin. Peralatan aerasi biasanya bekerja 24 jam sehari (Jenie, 1993).

### C. Uraian Tentang Kebutuhan Oksigen Biokimiawi

Efluen (air buangan) dengan BOD tinggi dapat menimbulkan masalah polusi bila dibuang secara langsung ke dalam perairan atau badan air, karena akibat pengambilan oksigen ini akan segera mengganggu seluruh keseimbangan ekologi bahkan dapat menyebabkan kematian ikan dan biota laut lainnya (Jenie, 1993).

Uji BOD merupakan salah satu metode analisis yang paling banyak digunakan dalam penanganan limbah dan pengendalian polusi. Uji ini mencoba menentukan kekuatan polusi suatu polusi berdasarkan kebutuhan mikroba akan oksigen dan merupakan ukuran tidak langsung dari bahan organik dalam limbah (Jennie, 1993). Kebutuhan oksigen biokimiawi merupakan indikator utama yang diterapkan terhadap air limbah dan sampah-sampah industri untuk menentukan tingkat air limbah, sampah



industri atau selokan dalam arti kata oksigen yang akan mereka butuhkan apabila dibuang ke dalam air alamiah (Mahida, 1981).

### 1. Defenisi kebutuhan oksigen biokimiawi

Kandungan bahan organik dari suatu limbah biasanya dinyatakan dengan parameter BOD atau kebutuhan oksigen biokimiawi. BOD dapat didefenisikan sebagai jumlah oksigen terlarut yang dikonsumsi atau digunakan oleh kegiatan kimia atau mikrobiologik, bila suatu contoh air diinkubasi dalam keadaan gelap (biasanya lima hari) pada suhu tertentu (20 °C). oleh karena oksigen dibutuhkan untuk oksidasi bahan organik maka BOD menunjukkan indikasi kasar banyaknya kandungan bahan organik dalam contoh tersebut (Jenie, 1993). Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian industri dan mendisain zat-zat organik yang tersuspensi dalam air.

Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau sistem-sistem pengolahan biologis bagi air yang tercemar tersebut. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah dalam suatu badan air yang dicemari oleh zat organik dimana bakteri dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air selama proses oksidasi tersebut yang bisa mengakibatkan kematian ikan-ikan dalam air dan keadaan menjadi

anaerobik serta dapat menimbulkan bau busuk pada air tersebut (Alaerts, 1987).

Jenis bakteri yang mampu mengoksidasi zat organik berasal dari sisa tanaman dan air buangan penduduk. Jumlah bakteri ini tidak banyak di air jernih dan di air buangan industri yang mengandung zat organik. Pada kasus ini perlu ditambahkan benih bakteri untuk oksidasi/penguraian zat organik tertentu, khususnya pada beberapa jenis air buangan industri yang mengandung fenol, detergen, minyak dan sebagainya. Bakteri harus diberikan "waktu penyesuaian" (adaptasi) beberapa hari melalui kontak dengan air buangan tersebut, sebelum dapat digunakan sebagai benih pada analisis BOD (Alaerts, 1987).

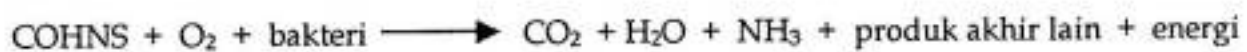
## 2. Prinsip analisis BOD

pengujian BOD merupakan pengujian yang paling umum dipergunakan dibidang pengolahan air limbah. Bila terdapat oksigen dalam jumlah yang cukup, maka pembusukan biologis secara aerobik dari limbah organik akan terus berlangsung sampai semua limbah dikonsumsi. Pada proses ini terjadi tiga kegiatan yang berlainan. Pertama, oksidasi sebagian limbah menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel serta pembentukan tallus yang baru. Kedua, beberapa bagian limbah diubah menjadi tallus baru dengan mempergunakan sebagian energi yang

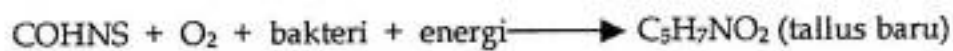
dilepaskan selama oksidasi. Akhirnya pada saat bahan organik dipakai, sel-sel yang baru mulai memakan tallusnya sendiri untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel. Proses yang ketiga ini disebut sebagai pernafasan/respirasi endogin (Linsley, 1985).

Apabila istilah COHNS (yang mewakili unsur-unsur karbon, oksigen, hidrogen, nitrogen dan belerang) dipakai untuk mewakili limbah organik dan istilah  $C_5H_7NO_2$  dipakai untuk mewakili tallus, maka ketiga proses di atas dapat dinyatakan dengan reaksi kimia umum berikut ini :

#### *Oksidasi*



#### *Persenyawaan*



#### *Respirasi endogin*



Bila hanya oksidasi pada karbon organik dalam limbah saja yang diperhitungkan maka BOD tertinggi adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menyempurnakan ketiga reaksi di atas (Linsley, 1985).

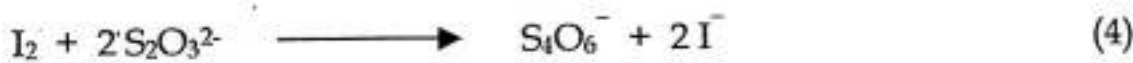
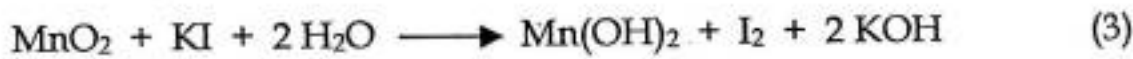
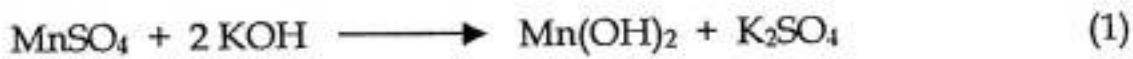
Uji BOD distandarisasi pada periode lima hari suhu  $20^\circ\text{C}$ . sampel disimpan dalam botol yang kedap udara. Stabilisasi yang sempurna dapat membutuhkan waktu lebih dari 100 hari pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . periode inkubasi

yang lama ini tidak praktis untuk penentuan rutin. Oleh karena itu prosedur yang disarankan oleh AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*) adalah periode inkubasi lima hari disebut BOD<sub>5</sub>. nilai ini hanya merupakan indeks jumlah bahan organik yang dapat dipecah secara biologis tidak mewakili seluruh jumlah bahan organik dari limbah (Jenie, 1993).

Metode penentuan angka BOD yang digunakan oleh sebagian besar laboratorium analisis air di Indonesia mengacu kepada *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* yang dipublikasikan oleh *American Public Health Association* (APHA). Pada metode baku ini dikatakan bahwa prinsip penentuan nilai BOD dari suatu contoh air berdasarkan pada pengukuran selisih jumlah oksigen terlarut (mg/l) contoh air sebelum diinkubasi dengan contoh air yang telah diinkubasi dalam inkubator BOD pada suhu 20°C selama lima hari. Contoh air tersebut harus mengandung jasad renik (*seed*) baik yang telah ada dalam air maupun melalui penambahan jasad renik dari luar contoh air yang berguna untuk menguraikan bahan organik (Ardensiwan, 1997).

Prinsip analisis oksigen terlarut dengan metode titrasi Winkler yaitu : oksigen di dalam sampel akan mengoksidasi MnSO<sub>4</sub> yang ditambahkan ke dalam larutan pada keadaan alkalis sehingga terjadi endapan MnO<sub>2</sub> (reaksi 1 dan 2). Dengan penambahan asam sulfat dan kalium iodida maka akan

dibebaskan iodine yang ekuivalen dengan oksigen terlarut (reaksi 3). Iodine yang dibebaskan tersebut kemudian dianalisis dengan metode titrasi iodometris (reaksi 4).



### 3. Faktor-faktor yang mempengaruhi analisis BOD

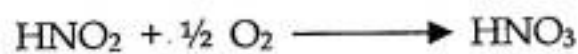
#### a. Proses nitrifikasi

Kebutuhan oksigen dapat juga berasal dari suatu oksidasi biologis amonia. Reaksi-reaksi yang menjelaskan proses nitrifikasi adalah :

**Perubahan amonia menjadi nitrit dengan nitrosomonas**



**Perubahan nitrit menjadi nitrat dengan nitrobacter**



**Perubahan menyeluruh amonia menjadi nitrat**



Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk perubahan amonia menjadi nitrat dikenal sebagai NOD (Kebutuhan Oksigen Nitrogen).

Umumnya kebutuhan oksigen akibat nitrifikasi akan terjadi setelah 8 hingga 10 hari sejak dimulainya pengujian BOD konvensional, tetapi hal ini dapat terjadi lebih cepat bila ada organisme yang membantu nitrifikasi dalam jumlah yang cukup (Linsley, 1985).

Ada dua sebab yang mencegah pertumbuhan bakteri nitrifikasi di alam terbuka yakni karena suhu  $10^{\circ}\text{C}$  atau karena air sungai yang tercemar telah sampai ke muara. Hal ini menyebabkan nitrifikasi pada botol BOD tidak berlaku. Oleh karena itu dalam analisis BOD baku pertumbuhan bakteri penyebab proses nitrifikasi dapat dihalangi dengan inhibitor, walaupun kemungkinan suhu tinggi seperti di daerah tropis mempercepat proses nitrifikasi secara alamiah (Alaerts, 1987).

b. Zat beracun

Zat beracun dapat memperlambat pertumbuhan bakteri yaitu memperlambat reaksi BOD bahkan membunuh organisme. Contoh zat beracun yakni  $\text{Cr(VI)}$ , Hg, Pb,  $\text{CN}^-$  dan sebagainya. Apabila kadarnya melampaui batas akan berbahaya bagi mikroorganisme. Pada kasus ini sebelum tes BOD harus diadakan masa penyesuaian (adaptasi) jenis-jenis bakteri terhadap racun (Alaerts, 1987).

c. Kemasukan oksigen pada botol BOD

Kemasukan oksigen ke dalam botol BOD selama waktu inkubasi harus dicegah. Botolnya harus ditutup dengan hati-hati (di atas tutup botol bisa diberi air/water seal), gelembung udara juga dapat dikeluarkan dengan mengetuk botol. Ganggang dan lumut juga dapat menambah atau mengurangi kadar oksigen secara teratur. Oleh karena itu pada waktu inkubasi botol BOD harus disimpan di tempat gelap (Alaerts, 1987).

d. Kekurangan nutrisi

Benih dari bermacam-macam bakteri dapat kurang jumlahnya atau kurang cocok bagi jenis air buangan yang akan dianalisis, maka cara pembenihan harus diperhatikan (Alaerts, 1987).

#### D. Optimasi

Optimasi adalah usaha untuk mendapatkan hasil yang terbaik pada suatu keadaan tertentu. Banyaknya masalah yang berkaitan dengan penentuan bagaimana suatu sumber daya dapat digunakan secara optimal mengharuskan seorang teknisi melakukan suatu optimasi untuk mendapatkan hasil terbaik. Metode untuk mencari nilai optimum juga dikenal sebagai teknik program matematis (*Mathematical Programming Techniques*) dan pada umumnya dipelajari sebagai bagian dari penelitian operasi (*Operation Research*). Metode operation research meliputi

mathematical programming techniques yang berguna dalam mencari minimum atau maksimum suatu fungsi dari beberapa variabel dengan serangkaian kendala; teknik proses stokastik yang dapat digunakan untuk menganalisis masalah-masalah yang digambarkan oleh satu himpunan variabel random yang mempunyai distribusi probabilitas yang diketahui; metode statistik yang memungkinkan seseorang menganalisis data eksperimen dan membentuk model-model empiris untuk memperoleh representasi yang paling akurat dari situasi (Herawati, 2000).

Permasalahan yang akan dioptimalkan, diselesaikan dengan menyatakan permasalahan ke dalam bentuk model optimasi. Prosedur ini memerlukan pendefinisian variabel keputusan, yaitu istilah yang digunakan untuk menandakan setiap parameter yang nilainya akan ditentukan. Istilah lain dari variabel keputusan adalah variabel desain atau variabel kontrol. Pada situasi praktis, variabel keputusan menyatakan jumlah uang, tenaga kerja, volume bahan atau efisiensi instalasi pengolahan yang kesemuanya mempunyai nilai tak negatif. Secara matematis biasa dinyatakan dengan  $X_j$  diimana  $j = 1, 2, 3, \dots, n$  dan  $X_j \geq 0$  (Herawati, 2000).

Elemen-elemen model optimasi meliputi fungsi tujuan, fungsi kendala dan selanjutnya dicari penyelesaian optimal. Fungsi tujuan (*objective function*) adalah fungsi satu nilai dari satu himpunan variabel keputusan yang akan



dioptimasikan, yaitu dimaksimumkan atau diminimumkan. Biasanya fungsi tujuan dinyatakan sebagai memaksimumkan manfaat atau hasil dan meminimumkan biaya atau kerugian. Secara matematis dinyatakan sebagai  $Z = f [X]$ . Untuk menemukan nilai-nilai variabel keputusan ( $X_j$ ), yang dapat mencapai nilai optimum fungsi tujuan perlu memperhatikan hal-hal yang menjadi kendala atau pembatas dalam permasalahan. Umumnya terdapat keterbatasan dari aspek finansial, fisis, teknologi, hukum atau institusi (Herawati, 2000).

#### 1. Metode optimasi program linear

Metode optimasi dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat dari fungsi matematis yang membentuk model optimasi tersebut. Pada program linear, fungsi matematis yang dapat digunakan untuk menyatakan persoalan yang dihadapi bersifat linear. Kata program yang dipakai disini tidaklah berhubungan dengan program komputer, tetapi merupakan sinonim untuk "perencanaan". Maka program linear adalah merencanakan aktivitas-aktivitas untuk memperoleh hasil yang optimal, yaitu mencapai tujuan terbaik berdasarkan model matematisnya. Program linear adalah salah satu metode optimasi yang pertama kali dikenalkan pada tahun 1930-an oleh para ekonom dalam mengembangkan metode-metode untuk alokasi sumberdaya yang

optimal. DR. George B. Dantzig, seorang ahli matematika bangsa Amerika Serikat disebut sebagai bapak dari lahirnya pemakaian program linear tersebut, yaitu dengan dikembangkannya metode penyelesaian simpleks pada tahun 1974 (Herawati, 2000).

## 2. Formulasi Model Program Linear

Ada tiga langkah utama dalam memformulasikan model pemrograman linear yaitu :

- a) Tentukan variabel yang ingin diketahui atau variabel keputusan dan gambarkan dalam simbol-simbol aljabar.
- b) Tentukan semua keterbatasan atau kendala dan gambarkan dalam bentuk persamaan linear atau ketidaksamaan linear dari variabel keputusan tadi.
- c) Tentukan fungsi tujuan atau kriteria dan gambarkan sebagai suatu fungsi linear dari variabel keputusan, yang akan berbentuk maksimasi atau minimasi.

Secara umum model pemrograman linear digambarkan dengan :

Tentukan nilai-nilai  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  yang memaksimumkan atau meminimumkan,

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + \dots + C_n X_n$$

Dengan memperhatikan kendala :

$$A_{11} X_1 + A_{12} X_2 + \dots + A_{1n} X_n \quad (\leq, =, \geq) K_1$$

$$A_{21} X_1 + A_{22} X_2 + \dots + A_{2n} X_n \quad (\leq, =, \geq) K_2$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$A_{m1} X_1 + A_{m2} X_2 + \dots + A_{mn} X_n \quad (\leq, =, \geq) K_m$$

Dimana :  $C_j$ ,  $k_i$ , dan  $A_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$  ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ) konstanta yang ditentukan oleh teknologi permasalahan dan  $X_j$  adalah variabel keputusan yang dinyatakan tidak negatif ( $X_j \geq 0$ )

Setelah melakukan formulasi, langkah selanjutnya adalah memecahkan model di atas. Karena persoalan pemrograman dapat digambarkan dalam berbagai bentuk seperti maksimasi atau minimasi dengan kendala lebih besar, sama dengan atau lebih kecil, maka diperlukan suatu bentuk baku yang dapat memenuhi prosedur pemecahan yang ada (Herawati, 2000).

Karakteristik dari bentuk baku tersebut adalah :

- Semua pembatas berbentuk persamaan, kecuali pembatas non negatif.
- Elemen ruas kanan tiap pembatas adalah non negatif.
- Semua variabel non negatif.
- Fungsi tujuan berbentuk maksimasi atau minimasi

Jika dalam persoalan kita menghadapi ketidaksamaan, maka ketidaksamaan ini diubah menjadi persamaan dengan menambah atau

mengurangkan variabel slack (S) dari ruas kiri. Kalau bentuk ketidaksamaannya  $\geq$ , maka variabel slack dikurangkan dari ruas kiri.

Misalnya :

$$P_1X_1 + P_2X_2 \leq k \text{ ekuivalen dengan } P_1X_1 + P_2X_2 + S_1 = k$$

$$q_1X_1 + q_2X_2 \geq m \text{ ekuivalen dengan } q_1X_1 + q_2X_2 - S_2 = m$$

#### E. Pencemaran Pada Sungai

Menurut UU No.4 tahun 1982, pencemaran lingkungan diartikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau oleh proses alam, sehingga kwalitaas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Herawati, 2000).

Secara umum sungai dikatakan tercemar karena terdapat zat yang potensial untuk menyebabkan pencemaran dalam jumlah yang berlebihan, sehingga fungsi sungai tidak dapat berjalan sebagaimana seharusnya. Garam-garam anorganik, asam-basa, bahan organik, zat padat tersuspensi, zat padat atau zat cair yang mengapung, panas, warna, bahan toksik, bahan adioaktif dan bahan-abahan yang menghasilkan busa (Lamb, 1985). Bahan-bahan tersebut mempunyai sifat terdegradasi, artinya dapat diurai dengan proses biologis alamiah, proses kimia dan fisika. Selama perjalanan ke hilir

jumlahnya akan berkurang. Sedangkan yang bersifat tak terdegradasi, bahan tersebut tidak dapat diurai dan akan menetap berakumulasi di lingkungan. Bahan pencemar tersebut berasal dari sumber buangan yang diklasifikasikan sebagai sumber titik dan sumber menyebar. Sumber titik adalah sumber pencemar terpusat, contohnya air buangan dari pipa efluen instalasi pengolahan air buangan industri maupun domestik, sewer dan saluran drainase. Sedangkan sumber menyebar meliputi run off atau limpasan dari permukaan tanah wilayah pemukiman atau pertanian.

#### F. Uraian Umum Tentang Air Limbah Industri

Setiap industri yang bersifat mengelola bahan-bahan baku dan membebaskan bahan-bahan buangan (kimia) dalam larutan bersama-sama dengan air, maka disebut sementara sebagai suatu "*Processing Industry*". Industri-industri inilah yang akan merupakan pokok masalah dalam hubungan dengan masalah pencemaran badan-badan air nantinya (Ryadi, 1984).

Air limbah industri merupakan kotoran, air yang bercampur zat-zat padat yang berasal dari pembuangan industri. Sesuai fakta, air limbah industri dapat merusak kesehatan manusia dan lingkungan (Pipeline, 1997).

Kandungan zat-zat yang berasal dari setiap industri sangat ditentukan oleh jenis industri itu sendiri. Untuk mengetahui kadar zat apa yang

terkandung di dalam air limbah, maka perlu menganalisis air limbah industri berdasarkan sifat-sifat sebagai berikut :

### **1. Sifat-Sifat Air Limbah Industri**

Analisis sifat-sifat air limbah sangat penting untuk menetapkan jenis parameter pencemar yang terdapat didalamnya. Sifat-sifat air limbah dapat dibedakan menjadi tiga bagian besar, yaitu :

#### **a. Sifat Fisik Air Limbah**

Bahan padat total terdiri dari bahan padat terlarut atau bahan padat terapung serta senyawa-senyawa yang larut dalam air. Kandungan bahan padat terlarut ditentukan dengan mengeringkan serta menimbang residu yang didapat dari pengeringan contoh air. Bila residu dibakar, maka bahan padat yang teruapkan akan mudah terbakar. Bahan padat yang teruapkan ini diperkirakan adalah bahan-bahan organik, walaupun beberapa bahan organik tidak akan terbakar dan bahan anorganik akan terpecah pada suhu tinggi. Bahan-bahan organik itu terdiri dari protein, hidrat arang serta lemak-lemak. Jika dalam jumlah besar akan mengganggu proses pengolahan air limbah (Linsley. 1985). Semakin lama, jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengolahan air limbah sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Agar bisa mengolah zat tersebut perlu adanya tambahan biaya untuk penyediaan

bahan kimia seperti penyerap karbon untuk mengolah air limbah secara lengkap (Sugiharto, 1987).

Warna merupakan ciri kualitatif yang dapat dipakai untuk mengkaji kondisi umum air limbah. Warna air limbah yang terdapat di alam sangat bervariasi. Jika warnanya coklat muda, maka umur air kurang dari enam jam. Warna abu-abu muda sampai agak tua menandakan bahwa air limbah sedang mengalami pembusukan. Bila warnanya abu-abu trau atau hitam, air limbah sudah membusuk setelah mengalami pembusukan oleh bakteri dengan kondisi anaerobik (tanpa adanya oksigen) (Linsley, 1985).

Suhu air merupakan parameter penting karena efeknya terhadap reaksi kimia dan laju reaksi serta kehidupan akuatik. Suhu yang baik untuk pengolahan limbah sekitar 25 °C sampai 30 °C (Pipeline, 1997). Perubahan suhu akan mempengaruhi aktivitas kimiawi dan biologis pada benda padat dan gas yang ada dalam air. Pembusukan terjadi pada sekitar 40 °C dan tingkatan oksidasi zat organik jauh lebih besar (Gintings, 1995). Industri yang menggunakan air untuk proses pendinginan akan menghasilkan panas. Suhu yang tinggi ini dapat menurunkan DO dalam air (Anonim, 1985).

Bau air limbah memberikan gambaran yang jelas mengenai keadaan air limbah. Penentuan bau semakin penting bila masyarakat mempunyai kepentingan langsung atas terjadinya operasi yang baik pada pengolahan air

limbah. Bau air limbah yang baru biasanya tidak begitu menyengat, tetapi berbagai senyawa yang berbau dilepaskan pada saat air limbah terurai secara biolois pada kondisi anaerobik. Senyawa-senyawa utama yang berbau adalah hidrogen sulfida (Linsley, 1985). Pentingnya bau dalam penentuan kondisi air limbah dipertinggi pula oleh kenyataan bahwa konsentrasi yang sangat kecil daripada suatu zat tertentu dapat dideteksi dari baunya (Mahida, 1981).

Kekeruhan menunjukkan sifat optis air yang menyebabkan pembiasan cahaya dalam air. Kekeruhan ini terjadi karena adanya bahan tersuspensi dan terurainya zat tertentu seperti bahan organik, jasad renik (Gintings, 1995). Selain itu, kekeruhan ini juga berasal dari produk korosi dan sisa-sisa tanaman yang telah mati (Negulescu, 1985).

#### **b. Sifat Kimia Air Limbah**

Bahan organik ditemukan di setiap tempat dalam lingkungan. Ia tersusun atas karbon dan unsur-unsur kimia lain yang banyak terdapat pada makhluk hidup. Bahan organik dalam air limbah berasal dari tanaman, hewan atau senyawa organik sintetik dan termasuk juga air limbah yang berasal dari kotoran manusia, pabrik kertas, deterjen, kosmetik, makanan, agrikultural, komesrial dan sumber-sumber industri lainnya. Senyawa organik umumnya merupakan kombinasi dari beberapa senyawa, yaitu karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan unsur lainnya. Beberapa senyawa



organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak dapat dikomsumsi dan diuraikan oleh mikroorganisme. Hal ini dapat menyebabkan polusi air (Pipeline, 1997). Seperti zat warna dan surfaktan, zat aktif permukaan ini sulit terurai oleh aktifitas mikroorganisme. Diantara zat warna ada yang mengandung logam berat seperti krom atau tembaga (Gintings, 1995).

Gas yang ada pada limbah cair, seperti hidrogen sulfida, oksigen, metana, dan karbon dioksida dapat mengganggu operasi sistem pengolahan air limbah. Hidrogen sulfida dapat terjadi sebagai pencemar di dalam beberapa buangan limbah cair. Hidrogen sulfida dipertimbangkan sebagai suatu produk hasil pernapasan anaerob yang dihasilkan pada penurunan tingkat oksigen terlarut di dalam daerah perairan oleh adanya bahan organik (Connel, 1995). Pengukuran oksigen terlarut dilakukan untuk memonitor dan mengendalikan proses pengolahan secara aerobik. Pengukuran metan dan oksigen terlarut dipakai dalam operasi pengolahan secara anaerobik (Linsley, 1985).

Bahan anorganik dari air limbah dan air alami sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan air minum. Jumlah kandungan bahan anorganik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh proses biologis dari asal air atau air limbah (Sugiharto, 1987). Air sering tercemar oleh komponen-komponen anorganik, diantaranya berbagai logam berat yang berbahaya.



Beberapa logam tersebut banyak digunakan dalam berbagai keperluan, oleh karena itu diproduksi secara rutin dalam skala industri. Industri-industri logam berat tersebut seharusnya mendapat pengawasan yang ketat sehingga tidak membahayakan bagi pekerja-pekerjanya maupun lingkungan sekitarnya. Penggunaan logam berat tersebut dalam berbagai keperluan sehari-hari berarti telah secara langsung maupun tidak langsung mencemari lingkungan. Logam-logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan terutama adalah merkuri, timbal, arsenik, cadmium, cromium dan nikel. Logam-logam tersebut diketahui dapat mengumpul didalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal di dalam tubuh dengan jangka waktu lama sebagai racun yang terakumulasi (Sastrawijaya, 1991).

pH merupakan konsentrasi ion hidrogen yang menjadi ukuran kualitas dari air maupun dari air limbah. Adapaun kadar yang sesuai adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik pada pH netral. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses biologi sehingga mengganggu proses penjernihannya (Sugiharto, 1987).

Kadar asam atau kadar basa limbah mempengaruhi pengolahan limbah dan lingkungan . pH rendah menunjukkan bertambahnya kadar asam, tetapi pH tinggi menunjukkan bertambahnya kadar basa. pH limbah yang

dibutuhkan antara 6-9 untuk melindungi organisme. Asam dari bahan lain mengubah pH yang dapat menonaktifkan proses pengolahan ketika organisme masuk ke limbah industri atau sumber komersial lainnya (Pipeline, 1997).

Tinggi rendahnya alkalinitas air ditentukan oleh senyawa karbonat, bikarbonat, garam hidroksida, kalium, magnesium dan natrium dalam air. Semakin tinggi kesadahan suatu air semakin sulit membuih. Oleh karena itu untuk menurunkan kesadahan air dilakukan pelunakan air (Gintings, 1995).

### c. Sifat Biologi Air Limbah

Organisme yang hidup di dalam air limbah memiliki beberapa perbedaan dan diantaranya merupakan kontributor yang esensial untuk penelitian. Suatu varietas dari bakteri, protozoa, dan cacing melakukan aktivitas untuk mengurai polutan-polutan karbon (bahan organik dalam air limbah yang dikonsumsi). Dalam proses ini organisme mengubah limbah menjadi karbondioksida, air atau pertumbuhan sel yang baru. Bakteri dan mikroorganisme yang lain umumnya dijumpai dalam air limbah dan digunakan dalam proses biologis (Pipeline, 1997).

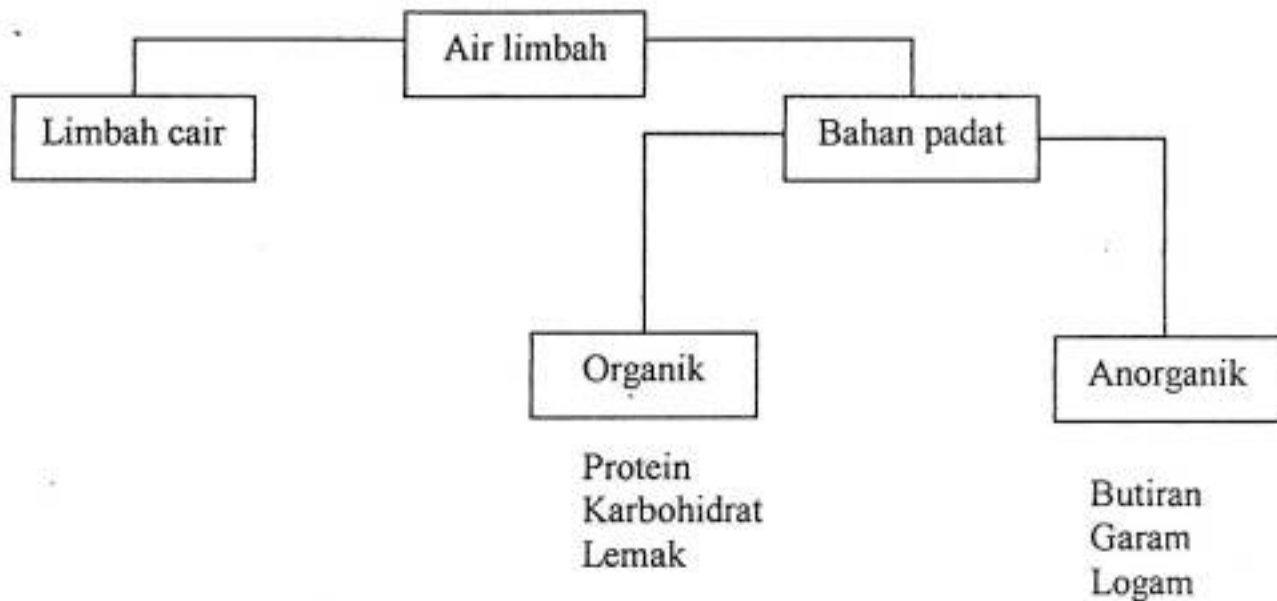
Patogen seperti virus, bakteri dan parasit yang terdapat dalam air limbah biasanya berasal dari manusia dan hewan. Patogen-patogen ini dapat menyebabkan beberapa penyakit. Diantaranya gastroenteritis yang dapat

dihasilkan dari suatu varietas patogen dan kasus-kasus penyakit ini biasanya disebabkan oleh parasit protozoa *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium*. Hal yang terpenting lainnya dalam air limbah yang berkaitan dengan penyakit meliputi hepatitis A, tipoid, polio, kolera dan disentri. Penularan atau penjangkitan penyakit ini dapat terjadi karena air minum dari sumur-sumur yang tercemar air limbah, ikan yang terkontaminasi atau aktifitas reaksi dalam air yang tercemar. Beberapa penyakit dapat ditimbulkan oleh hewan dan insekta yang datang dan terdapat dalam air limbah (Pipeline, 1997).

## 2. Komposisi Air Limbah

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Komposisi air limbah sebagian besar terdiri dari air (99,9 %) dan sisanya terdiri dari partikel-partikel padat terlarut (*dissolved solid*) dan tidak terlarut (*suspended solid*) sebesar 0,1 %. Partikel-partikel padat terdiri dari protein (65 %), karbohidrat (25 %), dan lemak (10 %). Zat-zat organik tersebut sebagian besar sudah terurai (*degradable*) yang merupakan sumber makanan dan media yang baik bakteri dan mikroorganisme yang lain. Sedangkan zat-zat anorganik terdiri dari grit, salts dan metal yang merupakan bahan pencemar yang penting. Solids (*dissolved dan suspended*) sangat cocok untuk menempel dan bersembunyinya mikroorganisme baik yang saprofit maupun patogen

(Anonim, 1985). Secara garis besar zat-zat yang terdapat di dalam air limbah dapat dikelompokkan seperti pada skema berikut ini :



Gambar 1. Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air limbah

### 1. Pencemaran Organik

Bahan organik yang terdapat dalam suatu badan air bersumber dari air buangan yang dihasilkan oleh aktivitas manusia yang berhubungan dengan sintesis senyawa organik. Senyawa organik biasanya tersusun dari kombinasi karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan unsur penting lain seperti belerang, fosfor dan besi. Kelompok terpenting bahan organik yang ada pada air buangan adalah protein (40 - 60 %), karbohidrat (25 - 50 %), lemak dan minyak (10 %). Urea yang merupakan unsur dominan air seni merupakan senyawa organik penting lainnya yang terdapat dalam air

buangan, karena dapat terurai dengan cepat maka urea yang tidak terurai jarang ditemukan kecuali pada air buangan yang baru dibuang ke sungai (Metcalf & Eddy, 1979).

Zat organik di perairan dipergunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dan bahan kimia yang diperlukan untuk pertumbuhan. Proses perombakan senyawa organik yang merupakan reaksi biokimia memerlukan oksigen yang terlarut dalam air, sehingga dapat menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen terlarut. Jika suplai oksigen dalam air tidak sesuai dengan oksigen yang dipakai bahkan sampai habis, hal ini akan menyebabkan matinya beberapa biota air dan timbul bau sebagai hasil samping pertumbuhan mikroorganisme pada kondisi anaerobik.

Selain jenis senyawa organik yang telah disebut di atas, ada jenis lain yang tidak dapat diurai secara biologi dan mempunyai sifat menetap (persist) untuk jangka waktu yang lama. Karena tidak ada mekanisme alamiah yang dapat membersihkan diri dari senyawa jenis ini, maka lama kelamaan terjadi akumulasi pada konsentrasi yang berlebihan di perairan atau pada kehidupan akuatik. Hal ini menimbulkan perhatian pada pecinta lingkungan pada semakin besarnya produksi senyawa organik sintesis. Beberapa jenis deterjen sintetik yang tidak bisa terdegradasi, mendapat perhatian yang besar dari masyarakat karena busa yang ditimbulkan

merusak estetika perairan dan menyebabkan pengolahan air maupun air buangan. Contohnya detergen dengan jenis surfaktan alkil benzena sulfonat yang tidak dapat diurai secara biologi (Lamb, 1985).

Perairan yang tercemar akibat buangan organik yang berasal dari sumber pencemar titik, akan memperlihatkan wilayah sebagai berikut (Hammer, 1986) :

- *Wilayah degradasi*, mengikuti saluran pembuangan dengan segera, terjadi penurunan kadar oksigen terlarut yang digunakan untuk menghilangkan BOD.
- *Wilayah dekomposisi aktif*, memperlihatkan karakteristik penting dari pencemaran. Oksigen terlarut mencapai titik minimum dan sering terjadi dekomposisi secara anaerob pada lumpur di dasar yang menimbulkan bau mengganggu. Bentuk-bentuk kehidupan yang lebih tinggi, terutama ikan, merasakan lingkungan pada wilayah pencemaran ini tidak menyenangkan. Bakteri dan fungi tumbuh subur pada dekomposisi bahan organik yang menurunkan BOD dan meningkatkan nitrogen amonia.
- *Wilayah pemulihan*, pada wilayah ini, laju reaerasi melebihi laju deoksigenasi sehingga penambahan oksigen terlarut meningkat secara perlahan. Nitrogen amonia berubah secara biologis menjadi nitrat. Rotifer, crustacean dan spesies ikan yang toleran akan muncul lagi. Algae tumbuh

subur dengan meningkatnya nutrien organik yang dihasilkan dari stabilisasi bahan organik.

- *Wilayah air jernih*, wilayah ini membantu berbagai kehidupan tumbuhan dan hewan akuatik serta ikan-ikan yang peka. Oksigen terlarut kembali pada nilai semula dan BOD hampir dihabiskan.

## 2. Parameter Pencemaran Organik

Parameter pencemaran organik pada air buangan maupun air permukaan yang paling banyak digunakan adalah kebutuhan oksigen biokimiawi (Biochemical Oxygen Demand, BOD), yaitu suatu angka yang didapat dari analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang terjadi di dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengoksidasi zat organik terlarut dan sebagian zat organik yang tersuspensi dalam air.

Uji coba kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD) merupakan salah satu dari uji coba yang paling penting untuk menentukan kekuatan atau daya cemar air limbah, dan air yang telah tercemar. Uji biokimia adalah yang mengukur jumlah zat organik yang kemungkinan akan dioksidasi oleh kegiatan-kegiatan bakteri aerobik biasanya dalam masa 5 hari pada suhu 20 °C. BOD dapat ditentukan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri dalam menyeimbangkan zat-zat organik yang dapat dibusukkan di



bawah keadaan aerobik. Hasil-hasil uji coba BOD dapat diterjemahkan dalam istilah-istilah mengenai zat-zat organik maupun dengan jumlah  $O_2$  yang digunakan selama oksidasinya karena hubungan kuantitatif yang pasti terdapat di antara jumlah  $O_2$  yang perlu untuk mengubah sejumlah tertentu campuran organik yang menjadi karbondioksida dan air.

Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen terlarut dalam air, proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerobik. Uji coba BOD tergantung pada penentuan oksigen yang terlarut, secara singkat uji coba itu dilakukan dengan cara menambahkan air pencair yang tidak membutuhkan  $O_2$  pada contoh dan menentukan kadar  $O_2$  setelah pengenceran. Contoh itu kemudian dieramkan selama lima hari pada suhu  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , setelah kadar  $O_2$  yang larut itu diperoleh kembali. Perbedaan dalam kedua nilai itu menunjukkan jumlah  $O_2$  yang dihabiskan oleh contoh selama masa ini dan mewakili BOD selama 5 hari. Penentuan DO merupakan dasar utama uji coba.

Pemeriksaan BOD ditujukan untuk bahan organik yang mengandung karbon, maka pemeriksaan BBOD di laboratorium dilakukan untuk periode inkubasi 5 hari (BOD tahap pertama) karena menghindari gangguan yang disebabkan oleh bakteri nitrifikasi. Bakteri nitrifikasi menggunakan oksigen

untuk mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat. Kebutuhan oksigen disini disebut kebutuhan oksigen nitrogen atau BOD tahap pertama.

Bahan organik sangat mempengaruhi jumlah oksigen terlarut karena menyebabkan kekurangan oksigen, untuk itu perlu dibatasi beban BOD yang boleh masuk ke dalam perairan. Kelarutan oksigen dalam air berubah sesuai dengan tekanan atmosfer dan berbeda pada berbagai suhu, harganya berkisar antara 14,6 mg/l pada suhu 0 °C hingga 7 mg/l pada suhu 35 °C pada tekanan 1 atmosfer. Oksigen merupakan jenis gas yang mempunyai sifat sedikit larut dalam air. Tingkat kejenuhan oksigen dalam air mengikuti hukum Henry. Laju terjadinya proses oksidasi biologis semakin cepat dengan bertambahnya temperatur dan kebutuhan oksigen untuk proses tersebut juga meningkat. Pada kondisi suhu tinggi kelarutan oksigen dalam air lebih rendah, hal ini akan menimbulkan kondisi kritis sehubungan dengan kekurangan oksigen terlarut. Kondisi seperti ini dapat terjadi selama musim kering atau musim panas, yaitu saat suhu tinggi dan kelarutan oksigen ada pada titik minimum.

Oksidasi biokimiawi merupakan proses yang lambat dan secara teoritik memerlukan waktu yang tak terbatas untuk mencapai kesempurnaan. Pada periode 20 hari, oksidasi sekitar 95-99% tercapai, dan dalam periode 5 hari, yang dipakai untuk

tes BOD, oksidasi tercapai 60-70%. Temperatur 20 °C digunakan sebagai suhu rata-rata untuk saluran yang bergerak perlahan dalam iklim panas dan mudah dikerjakan dalam inkubator. Perbedaan hasil mungkin ditemukan pada suhu yang berbeda karena laju reaksi biokimiawi tergantung pada suhu.

#### **G. Oksigen Terlarut Sebagai Parameter Model Pengelolaan Kualitas Air**

Dalam standar kualitas air permukaan, beberapa parameter ditentukan batas konsentrasinya dan konsentrasi oksigen terlarut dianggap yang paling penting. Oksigen terlarut diperlukan untuk alasan estetika dan untuk berlangsungnya reaksi kimia. Kenyataan yang ada juga menunjukkan sering terjadi pelanggaran standar oksigen terlarut dari parameter lainnya. Keberadaan oksigen terlarut pada suatu perairan dipengaruhi oleh fenomena yang menghasilkan kontribusi positif berupa penambahan dan kontribusi negatif berupa pengurangan kandungan oksigen terlarut (Pavoni, 1979).

##### **1. Sumber Penambahan Oksigen Terlarut**

Suplai oksigen ke dalam perairan terutama dihasilkan dari reaerasi atmosfer. Proses tersebut didasarkan pada transfer gas dari udara ke dalam air melalui permukaan. Transfer gas merupakan proses kimia fisik yang berlangsung terus menerus pada lapisan batas fasa gas dan cair. Kecepatan air mengalir yang tinggi memungkinkan molekul oksigen menembus lapisan

batas dan terjadi perpindahan gas dari udara ke dalam air. Secara simultan sebagian oksigen terlarut dalam air terlepas melalui lapisan batas ke atmosfer. Mekanisme dua arah ini berlangsung pada kecepatannya masing-masing, yang ditentukan oleh suhu dan variabel lain. Jika tidak ada lagi kebutuhan oksigen, maka proses ini mencapai kesetimbangan dinamis dimana kecepatan transfer dari udara ke air sama dengan kecepatan transfer ke arah sebaliknya. Pada keadaan ini, tercapai konsentrasi oksigen yang tetap dalam air pada nilai jenuhnya (Lamb, 1985).

Persamaan untuk kecepatan reaerasi  $r_R$  didefinisikan sebagai berikut :

$$r_R = K_2' (C_s - C)$$

- Dimana  $K_2'$  = Konstanta reaerasi (1/hari)  
 $C_s$  = Konsentrasi oksigen jenuh (mg/l)  
 $C$  = Konsentrasi oksigen terlarut (mg/l)

Rumusan untuk menentukan  $K_2'$  menurut O'conner dan Dobbins adalah :

$$K_2' = \frac{(D_1 \times V)^{0.5}}{H^{1.5}}$$

- Dimana  $D_1$  = Koefisien difusi molekul untuk oksigen ( $m^2/hari$ )  
 $= 1,76 \times 10^{-4}$ , pada  $T = 20^\circ C$   
 $V$  = Kecepatan aliran rata-rata (m/s)  
 $H$  = Kedalaman rata-rata (m)

Selain mekanisme reaerasi, suplai oksigen ke dalam air dapat berasal dari hasil fotosintesis tanaman air dan algae yang melepaskan oksigen ke dalam air.

## 2. Sumber Penurunan (sink) oksigen terlarut

Oksigen terlarut dalam sungai dapat berkurang akibat oksidasi bakteri terhadap bahan organik tersuspensi dan yang terlarut yang berasal dari alam atau aktivitas manusia, selain itu oksigen dapat pula berkurang oleh endapan lumpur dan pada pernafasan organisme yang hidup di bagian dasar perairan.

Jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai bahan organik diukur dengan test BOD, karena itu BOD merupakan sumber utama penurunan atau penggunaan oksigen dalam badan air. Kecepatan deoksigenasi mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$r_D = -K' L$$

Dimana,  $K'$  = Konstanta kecepatan reaksi orde pertama (1/hari)

$L$  = BOD terakhir pada titik yang ditentukan (mg/l)

Jika,  $L = L_0 e^{-K't}$

Maka,  $r_D = -K' L_0 e^{-K't}$

Dimana,  $L_0$  = BOD terakhir pada titik pembuangan (mg/l)

Disamping deoksigenasi karena oksidasi bahan organik, ada fenomena lain yang disebabkan oleh endapan lumpur pada dasar sungai yang merupakan bahan-bahan buangan yang cukup berat sehingga mengendap. Endapan lumpur pada dasar dengan kecepatan aliran lambat membutuhkan oksigen untuk berlangsungnya dekomposisi aerobik yang berlangsung pada lapisan batas antara lumpur dengan air yang mengalir selain dekomposisi anaerobik.

### 3. Model Oksigen Sag Streeter-Phelps

Pendekatan teori dasar Streeter-Phelps merupakan sistem sederhana dengan hanya mempertimbangkan dua proses utama yang terjadi dalam pembersihan alamiah suatu perairan, yaitu deoksigenasi yang disebabkan oleh dekomposisi bakterologis bahan organik yang mengandung karbon dan reaerasi atmosfer (Metcalf & Eddy, 1979).

Pengaruh dari dua proses utama, deoksigenasi dan reaerasi, membentuk profil kekurangan oksigen sepanjang jejak gerakan air. Model ini dapat diterapkan dengan mengambil asumsi bahwa penampang melintang sungai sama sepanjang aliran yang dikaji, kecepatan aliran konstan, konsentrasi oksigen dan BOD sama dalam arah horisontal dan vertikal pada seluruh penampang melintang. Pengaruh algae dan endapan lumpur diabaikan. Laju deoksigenasi dan reaerasi dianggap konstan.

Jika diasumsikan bahwa sungai dan air buangan tercampur sempurna pada titik pembuangan, maka konsentrasi unsur-unsur dari sungai dan air buangan pada titik pencampuran  $x = 0$  adalah :

$$C_0 = \frac{Q_r C_r + q_w C_w}{Q_r + q_w}$$



Di mana :

$C_0$  = Konsentrasi zat awal pada titik pembuangan (mg/l)

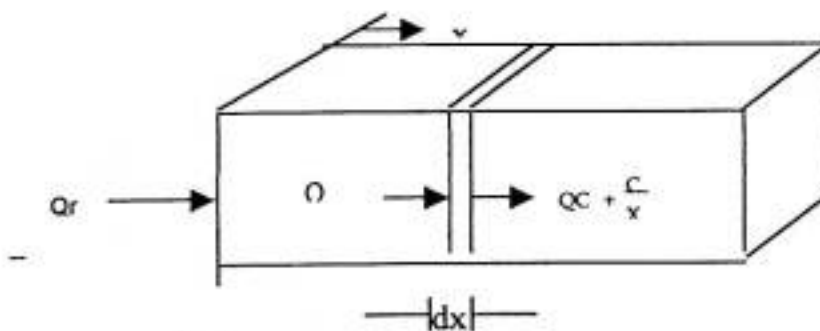
$Q_r$  = Debit sungai pada bagian hulu ( $m^3/s$ )

$C_r$  = Konsentrasi zat dalam sungai sebelum pencampuran (mg/l)

$Q_w$  = Debit air sungai yang dari sumber pencemar ( $m^3/s$ )

$C_w$  = Konsentrasi zat dalam air buangan (mg/l)

Perubahan oksigen dalam sungai dapat dibuat model dengan asumsi sungai sebagai suatu reaktor plug-flow, seperti gambar berikut :



Gambar 2. Model Plug-Flow yang digunakan dalam analisis sungai

Neraca massa : Akumulasi = Masuk - keluar + deoksigenasi + reoksigenasi

$$(\delta C / \delta t) dv = QC - QC (C + (\delta C / \delta x) dx) + r_D dv + r_R dv$$

$$r_D = -K'L ; r_R = K_2' (C_s - C)$$

Substitusi untuk  $r_D$  dan  $r_R$  didapat :

$$(\delta C / \delta t) dv = QC - QC (C + (\delta C / \delta x) dx) - K'LDV + K_2' (C_s - C) dV$$

Jika diasumsikan kondisi steady,  $\delta C / \delta t = 0$  maka persamaan di atas menjadi:

$$0 = -Q dC / dx \cdot dx - K'LDv + K_2' (C_s - C) dv$$

Substitusi  $A dx$  untuk  $dv$  dan  $dt$  untuk  $A dx / Q$ , sehingga :

$$DC / dt = -K'L + K_2' (C_s - C)$$

Bila kekurangan oksigen  $D$  didefinisikan sebagai  $D = (C_s - C)$

Maka perubahan kekurangan terhadap waktu  $dD / dt = -dC / dt$

Dengan menggunakan persamaan di atas, didapatkan :

$$D / dt = K'L - K_2' D$$

Substitusi untuk harga  $L$ , menghasilkan :

$$D / dt + K_2' D = K'Lo e^{-K_1 t}$$

Bila persamaan tersebut diintegrasikan untuk  $t = 0$  dan  $D = D_0$ , diperoleh persamaan :

$$Dt = \frac{K'Lo}{K_2' - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t}$$



Dimana :

$D_t$  = Kekurangan oksigen pada waktu  $t$  (mg/l)

$T$  = Waktu aliran (hari)

$K'$  = Koefisien deoksigenasi (1/hari)

$K_2'$  = Koefisien reaerasi (1/hari)

$L_o$  = BOD terakhir pada titik pembuangan ( $x = 0$ ) (mg/l)

$D_o$  = Kekurangan oksigen awal pada titik pembuangan ( $x = 0, t = 0$ )  
(mg/l) (Netti, 2000)

### BAB III

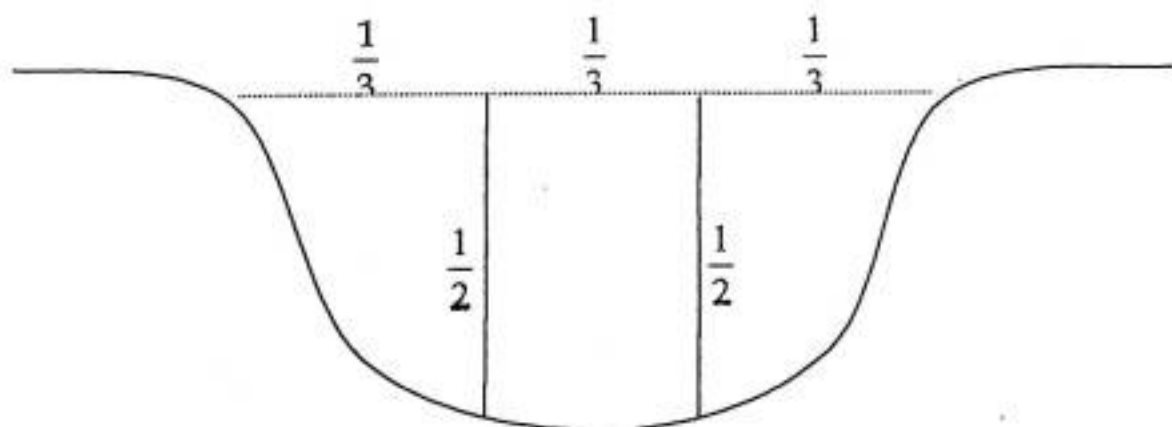
## METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan penentuan DO dengan metode standar Winkler dan aerasi pada pengolahan air sungai Tello dengan mengukur angka  $BOD_5$  air sungai dengan menggunakan metode standar yaitu inkubasi pada suhu  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 5 hari. Data yang diperoleh dianalisis dengan metode program linear.

#### B. Cara Pengambilan Sampel Air

Karena sampel diambil pada sungai yang kedalamannya tidak pernah mencapai 5 meter (kebanyakan kurang dari 1,5 meter) dan alirannya cukup turbulen menjadi homogen, maka sampel diambil antara  $\frac{1}{2}$  tinggi penampang basah dari permukaan air, sedangkan jarak dari tepi penampang adalah  $\frac{1}{3}$  meter.



Gambar 3. Penampang melintang sungai

### C. Alat dan bahan

1. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

- Botol BOD
- Buret 25 ml atau alat titrasi lain dengan skala yang jelas
- Labu ukur 100 dan 1000 ml
- Gelas ukur 250 ml
- Labu erlenmeyer 250 ml
- Pipet ukur 10 ml
- Inkubator dengan kisaran suhu -10 hingga 50 °C dan telah distabilkan pada suhu 20 °C pada saat pengujian
- Botol BOD 300 ml
- Aerator
- Gelas ukur 1000 ml
- Gelas piala 2000 ml

2. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

- Larutan mangan sulfat,  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Asam sulfat pekat,  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Larutan indikator kanji 2%
- Kristal natrium tiosulfat,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
- Larutan kalium dikromat,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,025N

- Air suling (aquadest)
  - Larutan pengencer
  - Larutan natrium hidroksida NaOH 0,1N
  - Larutan asam sulfat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1N
  - Larutan natrium tiosulfat Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025N
- a. pembuatan larutan induk natrium tiosulfat, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1N
- Melarutkan 24,820 g natrium tiosulfat (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O) dengan 100 ml air suling di dalam labu ukur 1000 ml
  - Menambahkan air suling sampai tepat tanda tera
  - Diawetkan dengan penambahan 1 - 2 g NaOH
- b. Pembuatan larutan baku natrium tiosulfat, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025N
- Mengukur 250 ml larutan induk natrium tiosulfat 0,1N dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml
  - Menambahkan air suling sampai tepat tanda tera
  - Menetapkan kenormalan larutan baku natrium tiosulfat dengan larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,025N

Penetapan kenormalan larutan baku Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

- Memipet 20 ml larutan baku K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,025N dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 ml secara duplo
- Menambahkan air suling sebanyak 80 ml

- Menambahkan 2,00 g serbuk KI murni dan 1 ml larutan  $H_2SO_4$  6N
- Dititrasi dengan larutan baku natrium tiosulfat  $Na_2S_2O_3$  0,025N sampai timbul warna kuning
- Menambahkan larutan indikator kanji 1 - 2 ml sampai timbul warna biru, kemudian titrasi dilanjutkan sampai terbentuk warna hijau muda
- Mencatat ml larutan natrium tiosulfat yang digunakan
- Menghitung kenormalan larutan baku natrium tiosulfat dengan rumus :

$$N_{Na_2S_2O_3} = \frac{A \times C}{B}$$

Keterangan :

A = ml larutan baku  $K_2Cr_2O_7$

B = ml larutan baku natrium tiosulfat yang dipakai menitrasi

C = Kenormalan larutan  $K_2Cr_2O_7$

#### D. Metode penentuan DO

##### 1. Persiapan benda uji

- Menyediakan contoh uji yang telah diambil sesuai dengan prosedur.

- Botol BOD diisi dengan contoh uji secara duplo sampai penuh dan dihindarkan dari terjadinya turbulensi dan gelembung udara selama pengisian, kemudian botol ditutup.
- Benda siap diuji.

## 2. Cara Uji

- Menambahkan 1 ml larutan  $MnSO_4$  dan 1 ml larutan alkali iodida azida ke dalam botol yang berisi benda uji
- Menutup botol dan dikocok dengan hati-hati dengan cara membolak-balikkan botol beberapa kali
- Dibiarkan sampai endapan terbentuk kira-kira setengah bagian dari botol
- Menambahkan 1 ml larutan  $H_2SO_4$  6N melalui dinding botol
- Dikocok sampai semua endapan larut
- Mengukur 200 ml larutan dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 500 ml, kemudian dititrasi dengan larutan baku natrium tiosulfat 0,025N sampai timbul warna kuning
- Menambahkan indikator kanji 1 - 2 ml sampai timbul warna biru dan dititrasi kembali hingga warna biru hilang
- Mencatat seluruh pemakaian natrium tiosulfat

- Apabila perbedaan pemakaian larutan natrium tiosulfat secara duplo lebih dari 0,10 ml maka pengujian diulang tetapi apabila kurang dari 0,10 ml, maka hasilnya dirata-ratakan untuk perhitungan kadar oksigen terlarut

### 3. Perhitungan

Menghitung kadar oksigen terlarut dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Oksigen terlarut (mg/l)} = \frac{1000 \times A \times N \times 8}{V_c - 2}$$

Keterangan :

A = ml larutan baku natrium tiosulfat yang digunakan

V<sub>c</sub> = ml larutan yang dititrasi

N = Kenormalan larutan natrium tiosulfat

V<sub>b</sub> = Volume botol BOD

## E. Metode penentuan BOD

### 1. Persiapan larutan uji

- Mengukur 1000 ml contoh uji secara duplo, dan dimasukkan ke dalam gelas piala 2000 ml
- Menetralkan contoh uji dengan penambahan basa atau asam
- Apabila contoh uji diperkirakan mengandung kadar BOD lebih dari 6 mg/l, diencerkan contoh uji dengan larutan pengencer

- Diaerasi dengan aerator selama 10 menit hingga oksigen terlarut 7 - 8 mg/l
- Dimasukkan ke dalam botol BOD 300 ml sampai meluap
- Larutan siap diuji

## 2. Cara Uji

- Memeriksa kadar oksigen terlarut nol hari dari salah satu botol BOD yang berisi larutan uji
- Memasukkan botol BOD yang berisi larutan uji ke dalam inkubator pada suhu 20 °C, selama 5 hari
- Memeriksa kadar oksigen terlarut lima setelah 5 hari

## 3. Perhitungan

Kadar BOD dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

a. Contoh uji tanpa diencerkan :

$$BOD = C_0 - C_5$$

b. Contoh uji yang diencerkan :

$$BOD = \{(C_0 - C_5) - k (AP_0 - AP_5)\} \times p$$

Keterangan :

$C_0$  = Kadar oksigen terlarut nol hari larutan uji (mg/l)

$C_5$  = Kadar oksigen terlarut lima hari larutan uji (mg/l)

$AP_0$  = Kadar oksigen terlarut nol hari larutan pengencer (mg/l)



$AP_5$  = Kadar oksigen terlarut lima hari larutan pengencer (mg/l)

$k$  = Koreksi sebesar  $(p - 1)/p$

$p$  = Faktor pengenceran

Selisih kadar BOD maksimum yang diperbolehkan antara dua duplo adalah 10%, dan hasilnya dirata-ratakan.

#### F. Penentuan $K'_2$ (koefisien reaerasi)

Penentuan koefisien reaerasi dilakukan dengan menggunakan rumus yang paling banyak digunakan dari O'conner dan Dobbins (1986), yaitu :

$$K_2' = \frac{(D_1 \times V)^{0.5}}{H^{1.5}}$$

Dimana  $D_1$  = Koefisien difusi molekul untuk oksigen ( $m^2/hari$ )

=  $1,76 \times 10^{-4}$ , pada  $T = 20^\circ C$

$V$  = Kecepatan aliran rata-rata (m/s)

$H$  = Kedalaman rata-rata (m)

#### G. Penentuan $K'$ (koefisien deoksigenasi)

Penentuan koefisien deoksigenasi dilakukan dengan menggunakan metode least square dari serangkaian pengukuran BOD. Semua koefisien yang digunakan di atas tergantung pada temperatur, dengan variasi harga dihubungkan dengan harga standar pada temperatur  $20^\circ C$ .

Besarnya harga koefisien laju reaksi untuk kondisi temperatur tertentu dihitung menurut rumusan yang diberikan oleh Streeter dan Phelps.

$$K_T = K_{20} \Phi^{(T-20)}$$

Dimana,

$K_T$  = Harga koefisien pada temperatur T

$K_{20}$  = Harga koefisien pada temperatur 20 °C.

$\Phi$  = Konstanta empirik

#### H. Penentuan suhu, kecepatan arus, dan debit sungai

Suhu sungai ditentukan dengan menggunakan termometer air raksa.

Kecepatan arus diukur dengan menggunakan pelampung yang diberi tali berskala tertentu pada permukaan air sungai, di mana penampang melintang sungai (lebar) dibagi menjadi 5 bagian, kemudian diukur kecepatan arusnya setelah mengetahui jarak yang ditempuh dan waktu tempuh pelampung. Kecepatan ditetapkan sebagai hasil bagi jarak dan waktu tempuh. Hasil kecepatan arus dari ke lima titik pengujian dirata-ratakan.

Debit ditentukan dengan metode Manning, dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = A \cdot V$$

$$A = (B + M \cdot H) H$$

Dimana,

A	=	Luas penampang basah sungai ( $m^2$ )
B	=	Lebar sungai (m)
H	=	Kedalaman (m)
M	=	Kemiringan talud
V	=	Kecepatan sungai (m/dtk)

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Data Hasil Penelitian

Sebelum membentuk model spesifikasi model optimasi program linier, akan disajikan data-data yang digunakan dan selanjutnya dari spesifikasi model tersebut akan dicari solusi optimumnya.

##### a. Data Karakteristik air buangan

Pada sungai Tallo, air buangan yang dimasukkan ke dalam sungai terdiri dari empat anak sungai, dimana 3 diantaranya berasal dari sumber pencemar industri. Berikut ini adalah data debit, BOD, dan DO air buangan yang menuju sungai Tallo.

Tabel 1. Data debit, BOD, dan DO air buangan dari tiap anak sungai yang masuk ke sungai Tallo.

Sumber	Debit (m <sup>3</sup> /det)	BOD (mg/l)	DO (mg/l)
I	2,56	50	4,46
II	1,806	110	4,26
III	6,04	114	1,22
IV	24,6	46	2,43



## b. Data Karakteristik Sungai Tallo

Data karakteristik ini digunakan untuk pembentukan model optimasi. Pada penelitian ini, karakteristik diperinci untuk setiap segmen sungai dimana pada penelitian ini, sungai dibagi menjadi empat segmen, setiap segmen dibatasi oleh dua titik pemasukan air buangan yang berurutan. Suhu sungai dan air buangan diasumsikan homogen, yaitu  $29,5^{\circ}\text{C}$ .

Tabel 2. Data karakteristik sungai pada tiap segmen

Segmen	Kecepatan aliran (m/det)	Jarak (m)	Waktu Aliran (hari-1)	Koefisien Reaerasi (hari-1)	Koefisien Deoksigenasi (hari-1)
I	0,5	100	0,0023	0,517	0,167
II	0,5	850	0,019	0,517	0,167
III	0,4	1250	0,036	0,414	0,167
IV	0,4	700	0,020	0,414	0,167

Kondisi sungai Tallo sebelum memasuki segmen pertama yang dipakai pada penelitian ini adalah:

- Debit sungai  $218,7 \text{ m}^3/\text{det}$
- BOD sungai  $54 \text{ mg/l}$
- DO sungai  $6,5 \text{ mg/l}$
- Suhu sungai  $29,5^{\circ}\text{C}$
- Koefisien reaerasi sungai  $0,517 \text{ hari}^{-1}$
- Koefisien deoksigenasi sungai  $0,167 \text{ hari}^{-1}$
- Kecepatan sungai  $0,2 \text{ m/det}$
- DO Jenuh  $7,9 \text{ mg/l}$
- DO Standar  $3 \text{ mg/l}$

## B. Penyelesaian dan Pembahasan Hasil Penelitian

Adapun spesifikasi model program linier secara matematis dapat disusun sebagai berikut :

Menemukan nilai-nilai efisiensi pengolahan tiap pencemar ( $\eta$ ), yang dapat meminimumkan  $Z = \sum \eta_i \quad i = 1, 2, \dots, n$  dan memperhatikan kendala berikut.

Debit sungai 218,7 m<sup>3</sup>/det, DO standar  $\geq 3$  mg/l

1.  $221,26 D_1 = 1432,97$

$$221,26 L_1 + 128 \eta_1 = 11937,8$$

$$0,0108 L_1 + 0,9988 D_1 \leq 4,9$$

2.  $223,066 D_2 - 2,389 L_1 - 220,99 D_1 = 7.689$

$$223,066 L_2 + 198,66 \eta_2 - 221,18 L_1 = 198,66$$

$$0,02377 L_2 + 0,990 D_2 \leq 4,9$$

3.  $229,105 D_3 - 220,84 D_2 - 5,3022 L_2 = 7,37$

$$229,105 L_3 + 688,56 \eta_3 - 222,36 L_2 = 688,56$$

$$0,3930 L_3 + 0,985 D_3 \leq 4,9$$

4.  $253,705 D_4 - 90,03 L_3 - 225,668 D_3 = 59,78$

$$253,705 L_4 + 1131,6 \eta_4 - 227,73 L_3 = 1131,6$$

$$0,0821 L_4 + 0,992 D_4 \leq 4,9$$

Dimana :  $D_i : i = 1, 2, 3, 4 \geq 0$

$L_i : i = 1, 2, 3, 4 \geq 0$

Model tersebut dapat disusun dalam bentuk yang lebih ringkas dengan menggunakan simbol aljabar  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Dengan tujuan untuk menentukan nilai-nilai efisiensi pengolahan ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) dari setiap sumber pencemar yang meminimumkan total tingkat pengolahan dari seluruh sumber pencemar.

Fungsi tujuan, meminimumkan :  $X_2(\eta_1), X_5(\eta_2), X_5(\eta_3),$  dan  $X_5(\eta_4)$  serta memperhatikan kendala berikut :

Segmen I.

1.  $221,26 X_1(D_1) = 1432,97$
2.  $221,26 X_2(L_1) + 128 X_5(\eta_1) = 11937,8$
3.  $0,0108 X_4(L_1) + 0,9988 X_3(D_1) \leq 4,9$

Segmen II

1.  $- 2,389 X_1(L_1) - 220,99 X_2(D_1) + 223,066 X_3(D_2) = 7.689$
2.  $223,066 X_4(L_2) + 198,66 X_5(\eta_2) - 221,18 X_1(L_1) = 198,66$
3.  $0,02377 X_4(L_2) + 0,990 X_3(D_2) \leq 4,9$

Segmen III

1.  $- 220,84 X_1(D_2) - 260,99 X_2(L_2) - 5,3022 X_3(D_3) = 7,37$
2.  $- 222,36 X_2(L_2) + 229,105 X_4(L_3) + 688,56 X_5(\eta_3) = 688,56$
3.  $0,3930 X_4(L_3) + 0,985 X_3(D_3) \leq 4,9$

#### Segmen IV

1.  $-225,668 X_1(D_3) - 90,03 X_2(L_3) + 253,705 X_3(D_4) = 59,78$
2.  $-227,73 X_2(L_3) + 253,705 X_4(L_4) + 1131,6 X_5(\eta_4) = 1131,6$
3.  $0,0821 X_4(L_4) + 0,992 X_3(D_4) \leq 4,9$

Pada pemecahan model ini, sumber pencemar yang mempunyai nilai  $BOD \leq 50$  mg/l tidak perlu dilakukan pengolahan karena telah memenuhi baku mutu limbah cair, sehingga efisiensi pengolahannya adalah 0%. Hal ini terjadi pada segmen IV. Dengan demikian, model program tersebut di atas menjadi :

Fungsi tujuan : meminimumkan  $X_5(\eta_2)$ ,  $X_5(\eta_3)$ , dan  $X_5(\eta_4)$

#### Segmen I.

1.  $221,26 X_1(D_1) = 1432,97$
2.  $221,26 X_2(L_1) + 128 X_5(\eta_1) = 11937,8$
3.  $0,0108 X_4(L_1) + 0,9988 X_3(D_1) \leq 4,9$

#### Segmen II

1.  $-220,99 X_1(D_1) - 2,389 X_2(L_1) + 223,066 X_3(D_2) = 7,689$
2.  $-221,18 X_2(L_1) + 223,066 X_4(L_2) + 198,66 X_5(\eta_2) = 198,66$
3.  $0,02377 X_4(L_2) + 0,990 X_3(D_2) \leq 4,9$



### Segmen III

$$1. -220,84 X_1 (D_2) - 5,3022 X_2(L_2) + 229,105 X_3 (D_3) = 7,37$$

$$2. -222,36 X_2(L_2) + 229,105 X_4 (L_3) + 688,56 X_5(\eta_3) = 688,56$$

$$3. 0,3930 X_4 (L_3) + 0,985 X_3 (D_3) \leq 4,9$$

Koefisien dari masing-masing persamaan linier dari model di atas merupakan input yang akan dimasukkan ke dalam penyelesaian untuk mendapatkan tujuan minimasi tingkat pengolahan. Data dalam bentuk tabel disajikan sebagai berikut :

Tabel 3. Input data untuk segmen I

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS
<b>Min</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	
Constraint 1	221,26	0	0	0	0	= 1432,97
Constraint 2	0	221,26	0	0	128	= 11937,8
Constraint 3	0	0	0,9988	0,0108	0	≤ 4.9

Tabel 4. Input data untuk segmen II

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS
<b>Min</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	
Constraint 1	-220.99	-2,389	223,066	0	0	= 7,689
Constraint 2	0	-221,18	0	223,066	198,66	= 198,66
Constraint 3	0	0	0,990	0,02377	0	≤ 4.9

Tabel 5. Input data untuk segmen III

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS
Min	0	0	0	0	1	
Constraint 1	-220,84	-5,3022	229,105	0	0	= 7,37
Constraint 2	0	-222,36	0	229,105	688,56	= 688,56
Constraint 3	0	0	0,985	0,3930	0	≤ 4.9

Berdasarkan data tersebut di atas, maka didapatkan solusi optimum dari ketiga sumber pencemar yang perlu menurunkan nilai BOD nya sebagai berikut :

Tabel 6. Solusi optimum untuk segmen I

Obj value = 0.000			
Variable	Value	Obj. Coeff	Obj Val Contrib
X1	6,4764	0.0000	0.0000
X2	53,9537	0.0000	0.0000
X3	0.0000	0.0000	0.0000
X4	0.0000	0.0000	0.0000
X5	0.0000	1.0000	0.0000

Obj value = 0.3500		
Constraint	RHS	Slack(-)/Surplus(+)
1 (=)	1432,9700	0.0000
2 (=)	11937,7998	0.0000
3 (<)	4.9000	4,9000-

Pada segmen pertama ini, untuk memenuhi baku mutu air yang DO sama atau lebih besar dengan 3 mg/l, maka kedua segmen ini tidak perlu untuk melakukan pengolahan lebih lanjut karena hasil pengolahan menunjukkan 0%. Meskipun kedua anak sungai ini nilai BOD nya melebihi dari standar dan tergolong menimbulkan pencemaran, tetapi karena pengaruh debit sungai yang besar dan jarak pada tiap segmen yang panjang sehingga proses "self purification" terjadi dengan baik yang menyebabkan meningkatnya jumlah DO sehingga menurunkan nilai BOD pada sungai.

Tabel 7. Solusi optimum untuk segmen II

Obj value = 0.3500			
Variable	Value	Obj. Coeff	Obj Val Contrib
X1	0.0000	0.0000	0.0000
X2	0.0000	0.0000	0.0000
X3	0,0345	0.0000	0.0000
X4	0,8906	0.0000	0.0000
X5	0.3500	1.0000	0.3500

Obj value = 0.3500		
Constraint	RHS	Slack(-)/Surplus(+)
1 (=)	7,6890	0.0000
2 (=)	198.6600	0.0000
3 (<)	4.9000	4,8447-

Tabel 8. Solusi optimum untuk segmen III

Obj value = 0.3500			
Variable	Value	Obj. Coeff	Obj Val Contrib
X1	0.0000	0.0000	0.0000
X2	0.0000	0.0000	0.0000
X3	0,0322	0.0000	0.0000
X4	3,0054	0.0000	0.0000
X5	0.3500	1.0000	0.3500

Obj value = 0.3500		
Constraint	RHS	Slack(-)/Surplus(+)
1 (=)	7,3700	0.0000
2 (=)	688,5600	0.0000
3 (<)	4.9000	3,6872-

Pada segmen kedua dan ketiga ini, untuk memenuhi baku mutu air atau DO sama atau lebih besar dengan 3 mg/l, maka sumber pencemar tersebut harus menurunkan BOD sebanyak 35 %. Dengan konfigurasi tingkat pengolahan tersebut, maka baku mutu  $DO \geq 3$  mg/l terpenuhi pada seluruh bagian sungai. Penurunan tingkat pencemaran BOD sebanyak 35 % dapat diatasi dengan pengolahan limbah teknologi primer. Dengan tingkat pengolahan optimum tersebut maka dapat diketahui komposisi air buangan (BOD effluen) yang dimasukkan ke dalam sungai.

Jika mengacu pada baku mutu limbah cair, maka angka yang didapat untuk kedua sumber pencemar belum atau tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan tetapi dengan penyelesaian program linier, hasil tersebut merupakan angka yang optimum untuk memenuhi ketentuan baku mutu air dengan cara yang ekonomis. Tetapi jika meninjau debit air buangan dari kedua sumber pencemar, maka didapat angka yang bervariasi dan konsentrasi BOD yang tinggi belum tentu menunjukkan beban pencemaran yang tinggi pula, hal ini tergantung pula pada debit beban pencemarannya.

Dalam "*natural self purification*" peranan proses aerasi dari udara atmosfer adalah membantu meningkatkan DO karena dengan aerasi ini akan meningkatkan jumlah oksigen terlarut dalam air yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam air. Proses reaerasi ini tergantung pada faktor-faktor waktu, suhu, tingkat kekeruhan, kedalaman air, sinar matahari dan "*rate of deoksigenation*" dari bahan air yang dicemari. Air sesungguhnya memiliki kemampuan untuk menghimpun oksigen dengan baik dari tumbuh-tumbuhan dalam air sendiri maupun dari udara langsung.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penyelesaian model-model program yang telah terbentuk, maka hasil yang dapat ditemukan sebagai berikut :
  - Pada segmen pertama, keputusan tingkat pengolahan adalah 0%.
  - Pada segmen kedua dan ketiga, solusi optimum dari variable keputusan tingkat pengolahan sebesar 35 % sebelum limbah dibuang ke sungai.
  - Pada segmen keempat, tidak perlu mengalami proses pengolahan, karena nilai BOD nya  $< 50$  mg/l.
2. Debit sungai dan baku mutu oksigen terlarut mempengaruhi tingkat pengolahan limbah. Semakin kecil debit sungai semakin besar tingkat pengolahan yang diperlukan, sebaliknya untuk baku mutu oksigen terlarut yang semakin besar, maka tingkat pengolahan yang dibutuhkan semakin besar pula.

#### B. Saran

1. Model program linier yang dibentuk masih dapat menampung penyesuaian, penambahan dan perubahan pada parameter.

Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan aspek lain berupa kecepatan nitrifikasi, kontribusi respirasi algae dan proses fotosintesis.

2. Penelitian mengenai model optimasi pencemaran ini, dilakukan pada waktu musim hujan di mana debit air pada sungai Tallo mengalami peningkatan. Ada baiknya penelitian ini dilanjutkan dengan menelitinya pada musim kemarau dimana debit airnya berkurang.

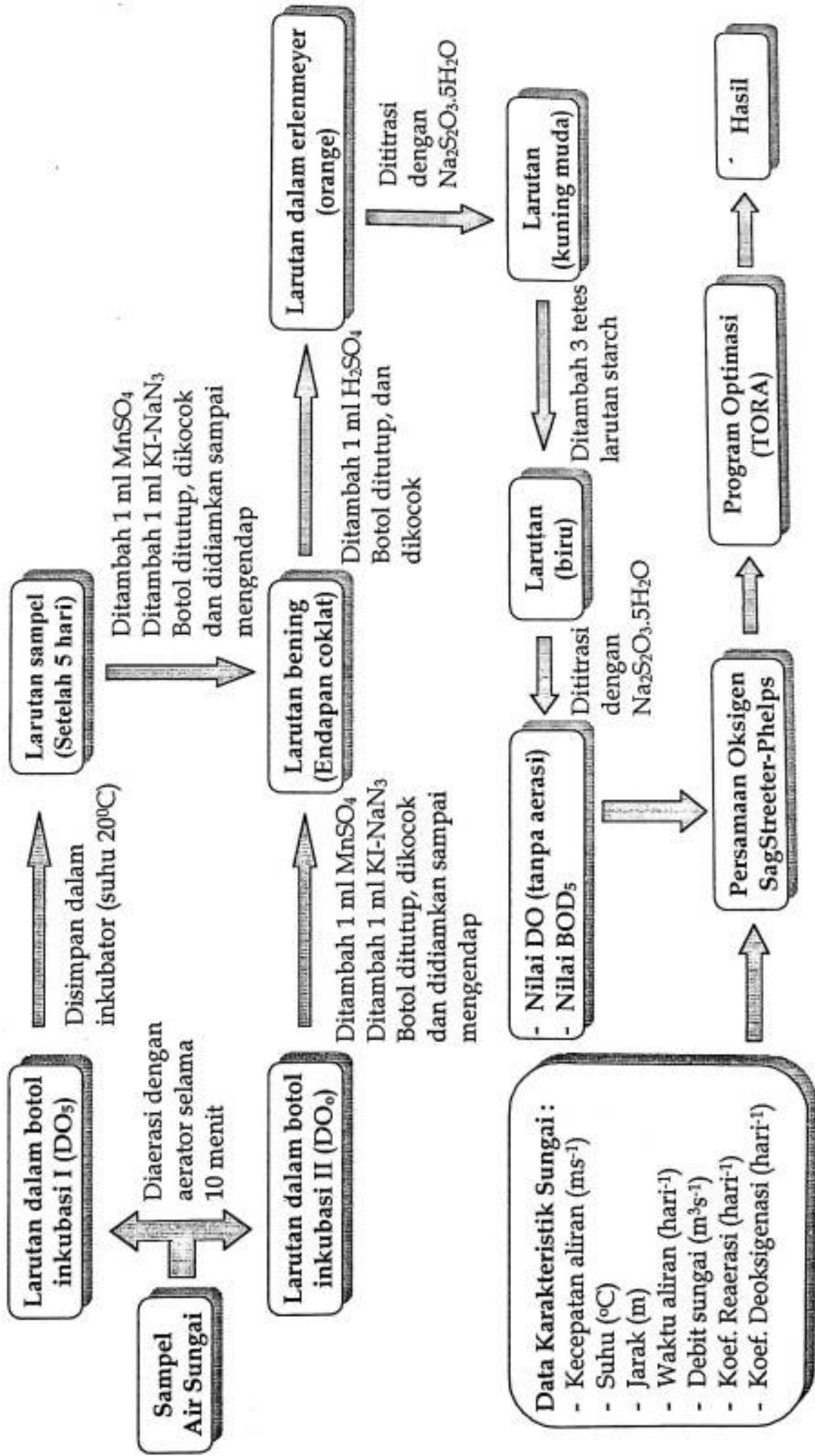
## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. dan Santika, S. 1987. "Metode Penelitian Air". Usaha Nasional, Surabaya.
- Anonim, 1985. "General of Waste Water Treatment Plant". Kubota, Ltd. Water and Sewage Plant Engineering and Contruction Department.
- Ardensiwan. Mulyati, Y. Tantowi, Rahman, A. 1997. "Evaluasi Kembali Metode Analisis Untuk Penetapan Nilai BOD di Indonesia". Buletin IPT No.2 Vol.III, Jakarta.
- Birds, T. 1993. "Kimia Fisik untuk Universitas". PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Clarck J.W., Viesmann W., and Hammer J.M., 1977. "Water Supply and Pollution Control". Carper and Raw Pupl, New York.
- Connel, D. W. dan Miller, G.J. 1995. "Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran". UI-Press, Jakarta.
- Gintings, P. 1995. "Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri". Pustaka, Sinar Harapan, Jakarta.
- Hammer, Mark J., 1986. "Water and Wastewater Technology". John Wiley & Sons Inc., New York.
- Jenie, B.S.S. dan Rahayu, W.P. 1993. "Penanganan Limbah Industri Pangan". Kanisius, Yogyakarta.
- Lamb and James C., 1985, "Water Quality and Its Control". John Wiley & Sons, New York.
- Linsley, R.K. 1985. "Teknik Sumber Daya Air". Erlangga, Jakarta.
- Lohani B.N., 1980. "Mathematical Optimization Model for Praya River". rpt., Enviromental Engineering Division AIT Bangkok, Thailand.
- Mahida, U.N. 1981. "Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri". CV. Rajawali, Jakarta.



- Metcalf dan Eddy, Inc. 1979. "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse". Mc Graw-Hill, Inc., New York.
- Negulescu, M. 1985. "Municipal Wastewater Treatment". Elsevier, New York.
- Herawati, Netti. 2000. "Model Optimasi Pencemaran Sungai Kaju Kabupaten Bone". Program Pasca Sarjana Jurusan Kimia Unhas, Makassar.
- Pipeline. 1997. "Wastewater". Purdue University, Indiana.
- Ryadi, S. 1984. "Pencemaran Air dan Dasar-Dasar Pokok Penanggulangannya". Karya Anda, Surabaya.
- Sastrawijaya, T.A. 1991. "Pencemaran Lingkungan". Rineka Cipta, Surabaya.
- Sudjana. 1996. "Metode Statistika". Tarsito, Bandung.
- Sugiharto. 1987. "Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah". UI-Press, Jakarta.

# BAGIAN KERJA





## Lampiran 2 : Peta Sungai Tallo

