

**PREDIKSI PARAMETER KUALITAS AIR  
BOD, DO, N DAN P DI SUNGAI BRANTAS HULU  
DENGAN MENGGUNAKAN MODEL QUAL-2E**

**(Daerah Kajian Pemantauan Kualitas Air  
Jemb. Pendem – Kedung Pedaringan)**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun Oleh :**

**Tantri Anggraeni  
0310640056 – 64**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
JURUSAN TEKNIK PENGAIRAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG**

2007



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat, karunia dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul :

**Prediksi Parameter Kualitas Air BOD, DO, N DAN P di Sungai Brantas Hulu Dengan Menggunakan Model QUAL-2E (Daerah Kajian Pemantauan Kualitas Air Jemb. Pendem – Kedung Pedaringan).**

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari dorongan dan bantuan dari banyak pihak, untuk itu penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar – besarnya kepada

1. Ibu .selaku Ketua Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Bapak DR. Ir. Widandi S,M.Eng. dan Ibu Emma Yuliani ,ST,MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Bapak Wawan, Ibu Srisiswati beserta staf Perum Jasa Tirta Malang atas bantuan diskusi dan penyediaan data untuk penyelesaian tugas akhir ini.
4. Keluarga besar Bapak Untung Subandi yang senantiasa mencurahkan dukungan, semangat, dan doa untuk penulis.
5. Teman – teman pengairan '03 atas perjuangan, kebersamaan, dan suka citanya.

Keterbatasan kemampuan, pengalaman dan pustaka penulis adalah yal yang membuat kurang sempurnanya skripsi ini. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun demi sempurnanya skripsi ini sangat penulis harapkan.

Akhirnya dengan segala kekurangan dan keterbatasan, penulis mengucapkan semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pembaca. AMIN.

Malang, Agustus 2007

Penyusun



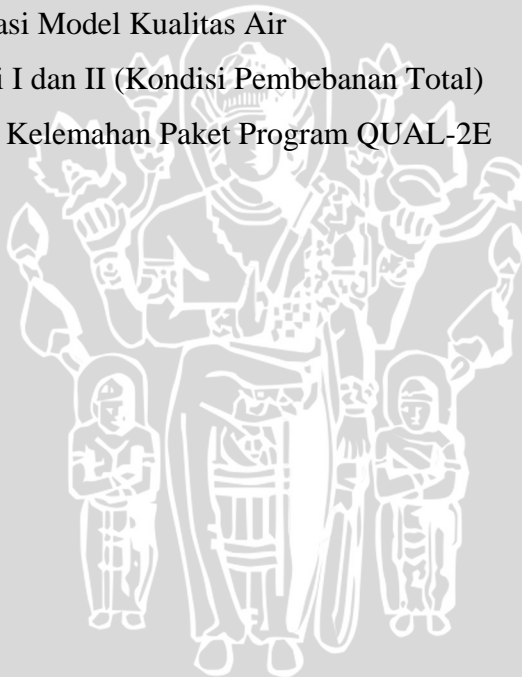
**DAFTAR ISI**

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Tujuan dan Manfaat	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	4
2.1. Pencemaran air	4
2.2. Sumber – sumber Pencemaran Air	5
2.2.1. Air Limbah Domestik	5
2.2.2. Air Limbah Industri	6
2.2.3. Air Limbah Resapan	7
2.2.4. Air Limbah Pertanian	7
2.3. Parameter Pencemaran Air	8
2.3.1. Parameter Fisik	8
2.3.2. Parameter Kimiawi	9
2.3.3. Parameter Biologi	11
2.4. Baku Mutu Air Buangan	11
2.5. Konsentrasi Limbah	12
2.6. Swa Pemurnian Sungai ( <i>Self Purification</i> )	13
2.7. Pelepasan dan Penyerapan Oksigen Terlarut	16
2.7.1. Laju Pelepasan Oksigen (Deoksigenasi)	17
2.7.2 Laju Penyerapan Oksigen (Reoksigenasi)	17



2.8.	Kurva Kelenturan oksigen ( <i>Sag Oxygen Curve</i> )	18
2.9.	Proses Transpor Air Limbah	20
2.10.	Model Simulasi QUAL-2E	21
2.10.1.	Tinjauan Parameter Program QUAL-2E	21
2.10.2.	Gambaran Prototipe dan Batasan Umum QUAL-2E	22
2.10.3.	Kesetimbangan Massa ( <i>Mass Balance</i> )	24
2.12.	Koefisien – koefisien Pemodelan	26
2.12.1.	Koefisien Laju Pelepasan Oksigen / Deoksigenasi ( $k_d$ )	26
2.12.2.	Koefisien Laju Penyerapan Oksigen / Reaerasi ( $k_a$ )	27
2.13.	Beban Pencemaran Air Limbah	27
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		29
3.1.	Lingkup Penelitian	29
3.2.	Tahapan Penelitian	29
3.3.	Skematisasi Model	33
3.4.	Pembagian Reach	34
3.5.	Sumber Data Input File	38
3.6.	Implementasi QUAL-2E	38
3.7.	Simulasi Model QUAL-2E	40
3.8.	Rancangan Hasil Studi	40
<b>BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN</b>		42
4.1.	Perhitungan Hidrolika Penampang Melintang	44
4.2.	Perhitungan Koefisien – koefisien Pemodelan	47
4.2.1.	Perhitungan Koefisien Deoksigenasi ( $k_d$ )	47
4.2.2.	Perhitungan Koefisien Reaerasi ( $k_a$ )	47
4.3.	Analisa Kualitas Air	49
4.3.1.	Sumber Pencemaran Terpusat	49
4.3.2.	Sumber Pencemaran Tersebar	51
4.4.	Pengolahan Data	52
4.4.1.	Screen 1 – QUAL2-E Simulation	52
4.4.2.	Screen 2 – Stream Reach System	52
4.4.3.	Screen 3 – Computational Element	53

4.4.4.	Screen 4 – Water Quality Simulation	53
4.4.5.	Screen 6 - Global Kinetics	54
4.4.6.	Screen 7 – Temperature and Correction Factors	54
4.4.7.	Screen 8 – Hydraulic Data	55
4.4.8.	Screen 9 – BOD and DO Reaction Rate Constants	55
4.4.9.	Screen 10 – Initial Conditions of Stream	55
4.4.10.	Screen 11 – Incremental Flow	56
4.4.11.	Screen 12 – Headwater Sources Data	56
4.4.12.	Screen 13 – Point Loads and Withdrawals	57
4.4.13.	Screen 14 – Dam Reaeration	57
4.5.	Hasil Simulasi QUAL-2E	58
4.6.	Analisa Simulasi Model Kualitas Air	61
4.6.1.	Simulasi I dan II (Kondisi Pembebanan Total)	61
4.7.	Kelebihan dan Kelemahan Paket Program QUAL-2E	61
<b>BAB V PENUTUP</b>		63
5.1.	Kesimpulan	63
5.2.	Saran	64
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		65
<b>LAMPIRAN</b>		



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengaruh sumber Polutan terhadap Sungai	12
Gambar 2.2. Bagan Proses Pemulihan Kembali Akibat Buangan Limbah ke Sungai	15
Gambar 2.3. Fenomena Swa Pemurnian Sungai	15
Gambar 2.4 Grafik Hubungan Jarak Aliran dengan Nilai Oksigen Terlarut	16
Gambar 2.5. Karakteristik Kurva Kelenturan Oksigen	20
Gambar 2.6 Pembagian Elemen Komputasi dan <i>Reach</i>	24
Gambar 2.7 Kesetimbangan Massa jika Diaplikasikan pada Kondisi Umum Segmen Sungai	25
Gambar 3.1. Peta Lokasi Stasiun Pengamatan Jemb. Pendem dan Kedung Pedaringan	30
Gambar 3.2. Letak <i>Remaining Basin</i>	32
Gambar 3.3. Titik – titik Sumber Polutan yang masuk ke badan sungai	32
Gambar 3.4. Peta Letak Industri yang dipantau oleh Perum Jasa Tirta	35
Gambar 3.6. Pembagian <i>Reach</i>	37
Gambar 3.7. Diagram Alir Penyelesaian Skripsi	41
Gambar 4.1. Letak Pembagian <i>Reach</i>	43
Gambar 4.2. Penampang Melintang Sungai P0	44
Gambar 4.3. Grafik Lengkung Debit P0	45
Gambar A.1. Grafik Hubungan Elevasi dengan Jarak ( <i>Reach 1</i> )	66
Gambar A.2. Grafik Hubungan Waktu dengan Debit Bulanan 2005 – 2006	67
Gambar A.3. Grafik Lengkung Debit P1	68
Gambar A.4. Grafik Lengkung Debit P2	70
Gambar A.5. Grafik Lengkung Debit P3	72
Gambar A.6. Grafik Lengkung Debit P4	74
Gambar A.7. Grafik Lengkung Debit P5	76
Gambar A.8. Grafik Lengkung Debit P6	78
Gambar A.9. Grafik Lengkung Debit P7	80
Gambar A.10. Grafik Lengkung Debit P8	82
Gambar A.11. Grafik Lengkung Debit P9	84
Gambar A.12. Grafik Lengkung Debit P10	86
Gambar A.13. Grafik Lengkung Debit P11	88



Gambar B.1. Grafik Fluktuasi Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) Stasiun Jemb. Pendem	92
Gambar B.2. Grafik Fluktuasi Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) Kedung Pedaringan	92
Gambar B.3. Grafik Fluktuasi DO (mg/l) Stasiun Jemb. Pendem	93
Gambar B.4. Grafik Fluktuasi DO (mg/l) Kedung Pedaringan	93
Gambar B.5. Grafik Fluktuasi BOD (mg/l) Stasiun Jemb. Pendem	94
Gambar B.6. Grafik Fluktuasi BOD (mg/l) Kedung Pedaringan	94
Gambar B.7. Grafik Fluktuasi $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) Stasiun Jemb. Pendem	95
Gambar B.8. Grafik Fluktuasi $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) Kedung Pedaringan	95
Gambar B.9. Grafik Fluktuasi $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) Stasiun Jemb. Pendem	96
Gambar B.10. Grafik Fluktuasi $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) Kedung Pedaringan	96
Gambar C.1. Grafik Hubungan DO (mg/l) dengan jarak Oktober 2005	118
Gambar C.2. Grafik Hubungan BOD (mg/l) dengan jarak Oktober 2005	118
Gambar C.3. Grafik Hubungan $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) dengan jarak Oktober 2005	119
Gambar C.4. Grafik Hubungan $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) dengan jarak Oktober 2005	119
Gambar C.5. Grafik Hubungan DO (mg/l) dengan jarak Februari 2006	120
Gambar C.6. Grafik Hubungan BOD (mg/l) dengan jarak Februari 2006	120
Gambar C.7. Grafik Hubungan $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) dengan jarak Februari 2006	121
Gambar C.8. Grafik Hubungan $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) dengan jarak Februari 2006	121
Gambar C.9. Grafik Hubungan DO (mg/l) dengan jarak Oktober 2006	122
Gambar C.10. Grafik Hubungan BOD (mg/l) dengan jarak Oktober 2006	122
Gambar C.11. Grafik Hubungan $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) dengan jarak Oktober 2006	123
Gambar C.12. Grafik Hubungan $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) dengan jarak Oktober 2006	123

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Rata – rata Aliran Limbah dari Daerah Pemukiman	6
Tabel 2.2. Angka Koefisien Parameter Polutan untuk Beban Limbah Domestik	6
Tabel 2.3. Rerata Aliran Limbah dari Beberapa Jenis Industri	7
Tabel 3.1. Lokasi Industri yang Dipantau	36
Tabel 3.2. Rancangan Hasil Studi	40
Tabel 4.1. Profil Muka Air Penampang Melintang Sungai P0	45
Tabel 4.2. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P0 Simulasi I	46
Tabel 4.3. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P0 Simulasi II	46
Tabel 4.4. Perhitungan Koefisien Deoksigenasi ( $k_d$ ) dan Koefisien Reaerasi ( $k_a$ ) Simulasi I	48
Tabel 4.5. Perhitungan Koefisien Deoksigenasi ( $k_d$ ) dan Koefisien Reaerasi ( $k_a$ ) Simulasi II	48
Tabel 4.6. Hasil Simulasi I Konsentrasi DO dan BOD Bulan Januari 2005	59
Tabel 4.7. Hasil Simulasi I Konsentrasi NO <sub>2</sub> _N dan PO <sub>4</sub> _P Bulan Januari 2005	60
Tabel A.1. Data Elevasi Dasar Sungai Brantas Hulu	66
Tabel A.2. Data Debit Bulanan Stasiun Debit Brantas 2005 – 2006	67
Tabel A.3. Profil Muka Air P1	68
Tabel A.4. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P1 Simulasi I	69
Tabel A.5. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P1 Simulasi II	69
Tabel A.6. Profil Muka Air P2	70
Tabel A.7. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P2 Simulasi I	71
Tabel A.8. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P2 Simulasi II	71
Tabel A.9. Profil Muka Air P3	72
Tabel A.10. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P3 Simulasi I	73
Tabel A.11. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P3 Simulasi II	73
Tabel A.12. Profil Muka Air P4	74
Tabel A.13. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P4 Simulasi I	75
Tabel A.14. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P4 Simulasi II	75
Tabel A.15. Profil Muka Air P5	76
Tabel A.16. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P5 Simulasi I	77

Tabel A.17. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P5 Simulasi II	77
Tabel A.18. Profil Muka Air P6	78
Tabel A.19. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P6 Simulasi I	79
Tabel A.20. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P6 Simulasi II	79
Tabel A.21. Profil Muka Air P7	80
Tabel A.22. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P7 Simulasi I	81
Tabel A.23. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P7 Simulasi II	81
Tabel A.24. Profil Muka Air P8	82
Tabel A.25. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P8 Simulasi I	83
Tabel A.26. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P8 Simulasi II	83
Tabel A.27. Profil Muka Air P9	84
Tabel A.28. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P9 Simulasi I	85
Tabel A.29. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P9 Simulasi II	85
Tabel A.30. Profil Muka Air P10	86
Tabel A.31. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P10 Simulasi I	87
Tabel A.31. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P10 Simulasi II	87
Tabel A.32. Profil Muka Air P11	88
Tabel A.34. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P11 Simulasi I	89
Tabel A.35. Perhitungan Tinggi Muka Air dan Kecepatan Air P11 Simulasi II	89
Tabel A.36. Perhitungan B rerata Simulasi I dan II	90
Tabel B.1. Suhu (°C) di Stasiun Pengamatan Kualitas Air Tahun 2005 – 2006	92
Tabel B.2. DO (mg/l) di Stasiun Pengamatan Kualitas Air Tahun 2005 – 2006	93
Tabel B.3. BOD (mg/l) di Stasiun Pengamatan Kualitas Air Tahun 2005 – 2006	94
Tabel B.4. NO <sub>2</sub> _N (mg/l) di Stasiun Pengamatan Kualitas Air Tahun 2005 – 2006	95
Tabel B.5. PO <sub>2</sub> _P (mg/l) di Stasiun Pengamatan Kualitas Air Tahun 2005 – 2006	96
Tabel B.6. Data Debit (m <sup>3</sup> /dt)	97
Tabel B.7. Data Suhu (°C) Industri Besar di Daerah Model Tahun 2005 - 2006	98
Tabel B.8. Data BOD (mg/l) Industri Besar di Daerah Model Tahun 2005 – 2006	98
Tabel B.9. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Januari Simulasi I	99
Tabel B.10. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Januari Simulasi II	99
Tabel B.11. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Februari Simulasi I	100

Tabel B.12. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Februari Simulasi II	100
Tabel B.13. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Maret Simulasi I	101
Tabel B.14. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Maret Simulasi II	101
Tabel B.15. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan April Simulasi I	102
Tabel B.16. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan April Simulasi II	102
Tabel B.17. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Mei Simulasi I	103
Tabel B.18. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Mei Simulasi II	103
Tabel B.19. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Juni Simulasi I	104
Tabel B.20. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Juni Simulasi II	104
Tabel B.21. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Juli Simulasi I	105
Tabel B.22. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Juli Simulasi II	105
Tabel B.23. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Agustus Simulasi I	106
Tabel B.24. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Agustus Simulasi II	106
Tabel B.25. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan September Simulasi I	107
Tabel B.26. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan September Simulasi II	107
Tabel B.27. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Oktober Simulasi I	108
Tabel B.28. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Oktober Simulasi II	108
Tabel B.29. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan November Simulasi I	109
Tabel B.30. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan November Simulasi II	109
Tabel B.31. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Desember Simulasi I	110
Tabel B.32. Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Bulan Desember Simulasi II	110
Tabel B.33. Konsentrasi Aliran Limbah Domestik Simulasi I	111
Tabel B.34. Konsentrasi Aliran Limbah Domestik Simulasi II	114
Tabel C.1. Hasil Simulasi Konsentrasi DO dan BOD Bulan Oktober 2005	118
Tabel C.2. Hasil Simulasi Konsentrasi NO <sub>2</sub> _N dan PO <sub>4</sub> _N Bulan Oktober 2005	119
Tabel C.3. Hasil Simulasi Konsentrasi DO dan BOD Bulan Februari 2006	120
Tabel C.4. Hasil Simulasi Konsentrasi NO <sub>2</sub> _N dan PO <sub>4</sub> _N Bulan Februari 2006	121
Tabel C.5. Hasil Simulasi Konsentrasi DO dan BOD Bulan Oktober 2006	122
Tabel C.6. Hasil Simulasi Konsentrasi NO <sub>2</sub> _N dan PO <sub>4</sub> _N Bulan Oktober 2006	123

## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A Perhitungan Slope Rerata, Data Debit, Profil Muka Air, Grafik Lengkung Debit, Perhitungan Tinggi muka air dan Kecepatan Air untuk Simulasi I dan II, Perhitungan H rerata dan V rerata Simulasi I dan II, Perhitungan B rerata.
- LAMPIRAN B Data Suhu, Data Konsentrasi BOD, DO, N dan P, Konsentrasi Aliran Limbah Terpusat Simulasi I dan II, Konsentrasi Aliran Limbah Domestik Simulasi I dan II. Konsentrasi Aliran Limbah Tersebar Simulasi I dan II
- LAMPIRAN C Hasil Simulasi BOD, DO, N dan P beserta Grafik Hubungan Jarak dengan Konsentrasi.
- LAMPIRAN D Kriteria Mutu Air berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.



## ABSTRAK

Tantri Anggraeni, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2007, ***Prediksi Parameter Kualitas Air BOD, DO, N dan P di Sungai Brantas Hulu Dengan Menggunakan Model QUAL-2E (Daerah Kajian Pemantauan Kualitas Air Jemb. Pendem – Kedung Pedaringan)***. Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Widandi Soetopo, M.Eng. dan Emma Yuliani, S.T.

Sungai merupakan tempat bertumpunya hampir semua kegiatan manusia, selain itu, sungai juga dijadikan tempat pembuangan limbah cair baik limbah industri, pertanian, peternakan ataupun rumah tangga karena sungai dikenal sebagai Daerah Pengaliran Sungai (*catchment area*).

Penggunaan air secara intensif untuk memenuhi kebutuhan konsumsi, sanitasi, industri dan lain – lain yang makin meningkat akan menyebabkan masalah, menyebabkan kualitas air permukaan menurun karena makin meningkatnya pencemaran.

Pengendalian pencemaran air dan pengawasan kualitas air sungai antara lain dapat dilakukan dengan cara pemantauan dan evaluasi perubahan mutu air serta pengumpulan dan evaluasi data pencemaran air pada sumber – sumber air oleh instansi – instansi terkait. Parameter BOD, DO, N dan P merupakan salah satu parameter kualitas air yang sangat berpengaruh untuk mengetahui tingkat pencemaran di suatu badan air. Untuk menganalisa parameter kualitas air tersebut di sepanjang aliran sungai, maka diperlukan suatu metode kontrol yang secara ekonomis dan teknis dapat dipertanggungjawabkan. Salah satu metode tersebut adalah dengan cara model simulasi kualitas air menggunakan paket program QUAL-2E.

Daerah kajian adalah Sungai Brantas Hulu (Jemb. Pendem – Kedung Pedaringan), dengan melakukan simulasi I (data tahun 2005) dan simulasi II (data tahun 2006) dinilai sudah cukup akurat. Dengan menggunakan model QUAL-2E ini, dapat memprediksi konsentrasi parameter BOD, DO, N dan P disepanjang aliran dengan panjang sungai 22 km yang dibagi setiap 2 km, sehingga terdapat 11 elemen komputasi, dan sebagai tolak ukur hasil perhitungan dibandingkan dengan data yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan oleh Jasa Tirta.

Hasil *output* simulasi QUAL-2E terlihat dari hubungan konsentrasi BOD, DO, N dan P dengan jarak. Peningkatan konsentrasi BOD dan penurunan konsentrasi DO tampak jelas terjadi pada elemen pembuangan gabungan industri besar. Adanya Dam Sengkaling dan Dam Kadal Pang bisa mempengaruhi kenaikan konsentrasi DO karena dengan adanya bangunan air yang melintang sungai menyebabkan terjadinya turbulensi dan mempercepat proses reaerasi. Konsentrasi BOD dapat turun diikuti dengan kenaikan konsentrasi DO apabila pada sungai terjadi proses pengenceran dengan debit yang cukup, dalam kajian ini pengenceran berasal dari anak Kali Amprong, Kali Meri dan Kali Manten. Untuk konsentrasi N dan P bervariasi, baik pada bulan yang mewakili musim penghujan (Januari 2005 dan Februari 2006), maupun bulan yang mewakili musim kemarau (Oktober 2005 dan Oktober 2006). Kemampuan Sungai Brantas Hulu (Jembatan Pendem – Kedung Pedaringan) dalam menerima polutan, secara garis besar masih dalam tahap aman, dapat dilihat dari konsentrasi DO, BOD, N dan P pada setiap bulan dapat terpenuhi (evaluasi Perum Jasa Tirta I masuk dalam Golongan Kelas III) berdasarkan klasifikasi Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan tingkat pendidikan masyarakat yang pesat berpengaruh terhadap jumlah kebutuhan dan pelayanan yang semakin baik. Air merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting, baik saat ini maupun masa mendatang, sehingga bukan hanya masalah kuantitas saja yang harus diperhatikan melainkan juga masalah kualitas air itu sendiri.

Sungai merupakan tempat bertumpunya hampir semua kegiatan manusia seperti pertanian, sarana transportasi, industri, perdagangan/jasa, kawasan perkotaan dan pemukiman. Selain itu, sungai juga dijadikan tempat pembuangan limbah cair baik limbah industri, pertanian, peternakan ataupun rumah tangga karena sungai dikenal sebagai Daerah Pengaliran Sungai (*catchment area*).

Penggunaan air secara intensif untuk memenuhi kebutuhan konsumsi, sanitasi, industri dan lain-lain yang makin meningkat akan menyebabkan masalah, diantaranya sumber-sumber air tidak dapat memenuhi tuntutan kebutuhan masyarakat, serta kualitas air permukaan menurun karena makin meningkatnya pencemaran.

Pencemaran air adalah suatu peristiwa masuknya zat ke dalam air yang mengakibatkan kualitas air menurun, sehingga dapat mengganggu dan membahayakan masyarakat. Sebenarnya dalam memenuhi segala kebutuhannya, mengharuskan manusia untuk mendayagunakan sumber-sumber yang ada di sekitarnya baik berupa sumber daya alam maupun melalui proses produksi untuk menciptakan barang dan jasa yang berguna bagi kehidupan. Sampai saat ini pencemaran air, terutama air sungai di Indonesia sudah menjadi masalah yang serius.

Pengendalian pencemaran air dan pengawasan kualitas air sungai antara lain dapat dilakukan dengan cara pemantauan dan evaluasi perubahan mutu air serta pengumpulan dan evaluasi data pencemaran air pada sumber-sumber air oleh instansi-instansi terkait. Parameter BOD, DO, N dan P merupakan salah satu parameter kualitas air yang sangat berpengaruh untuk mengetahui tingkat pencemaran di suatu badan air. Untuk menganalisa parameter kualitas air tersebut di sepanjang aliran sungai, maka diperlukan suatu metode kontrol yang secara ekonomis dan teknis dapat dipertanggungjawabkan. Salah satu metode tersebut adalah dengan cara model simulasi kualitas air menggunakan paket program QUAL-2E.



Sistem model merupakan penyederhanaan dari sistem prototipe, maka diharapkan sistem tersebut dapat meniru perilaku dasar dari prototipe. Untuk mengetahui keakuratan atau keandalan model dilakukan perbandingan dari pengamatan pada stasiun-stasiun kualitas air yang terpasang.

### **1.2. Identifikasi Masalah**

Permasalahan umum yang terjadi di Sungai Brantas adalah masalah cara menjaga kualitas airnya sehingga memenuhi standar baku mutu air yang telah ditentukan. Berdasarkan Laporan Kegiatan Pemantauan Kualitas Air di DPS kali Brantas yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta, kualitas di beberapa tempat ternyata belum memenuhi syarat baku mutu air. Pada air permukaan yang telah terpolusi, secara alamiah air permukaan tersebut dapat melakukan proses swa pemurnian sungai, yaitu membersihkan diri dari polutan sehingga dapat menghilangkan atau setidaknya menjadikan air tersebut tidak berbahaya bagi kesehatan. Pengolahan limbah sendiri oleh badan air merupakan fungsi dari penyerapan dan pelepasan oksigen terlarut yang lazim disebut proses asimilasi.

Analisa parameter kualitas air BOD, DO, N dan P ini merupakan salah satu metode kontrol untuk mengetahui mutu air agar tetap sesuai dengan peruntukannya. Dari analisa menggunakan model simulasi QUAL-2E ini, maka tingkat pencemaran air sungai dan konsentrasi maksimum parameter polutan dapat diketahui.

QUAL-2E merupakan sebuah model simulasi yang didesain untuk menirukan perilaku BOD, DO, N dan P pada kondisi ruang serta variasi-variasi perubahan (penambahan) temperatur air dan total residu terlarut yang bersifat temporer. Kajian ini didasarkan pada pemecahan numerik persamaan matematik yang menerangkan proses fisik, kimia dan biologi dalam aliran sungai dengan model numerik. Model numerik sangat bermanfaat untuk kajian awal dan mengembangkan alternatif-alternatif desain dalam studi kelayakan.

### **1.3. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam kajian ini adalah :

1. Daerah studi adalah sungai Brantas bagian hulu lokasi pemantauan kualitas air (Jembatan Pendem) sampai dengan lokasi pemantauan kualitas air (Kedung Pedaringan).

2. Data yang digunakan untuk pengecekan sensitivitas dari simulasi yang dipakai adalah data sekunder yang diambil dari laporan bulanan uji kualitas air di sepanjang sungai Brantas hulu sejak tahun 2005 sampai dengan tahun 2006 dianggap cukup akurat.
3. Data industri besar terpantau dengan baik oleh Perum Jasa Tirta.
4. Tingkat pencemaran yang diambil parameter BOD, DO, N dan P.
5. Tidak membahas penyusunan dasar program QUAL-2E, tetapi teori dasar dan aplikasinya akan dijelaskan.
6. Simulasi hanya dilakukan pada keadaan *steady state*.

#### 1.4. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kandungan konsentrasi BOD, DO, N dan P pada daerah kajian lokasi pemantauan kualitas air Brantas hulu (Jemb. Pendem - Kedung Pedaringan) berdasarkan hasil dari simulasi QUAL-2E ?
2. Apakah sungai Brantas hulu (daerah kajian) masih dalam tahap aman atau sudah terlampaui, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 ?

#### 1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari analisa aliran BOD, DO, N dan P pada sungai Brantas bagian hulu ini adalah untuk mengetahui kandungan BOD, DO, N dan P pada daerah kajian. Dengan didapatkannya kandungan BOD, DO, N dan P di sepanjang aliran sungai, maka tingkat pencemaran sungai akan dapat diketahui sehingga dapat diambil suatu kesimpulan apakah sudah terlampaui atau tidak.

Sedangkan manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Sebagai informasi tentang fluktuasi konsentrasi BOD, DO, N dan P pada Brantas hulu mulai kurun waktu tahun 2005 sampai dengan tahun 2006 untuk mendukung pengontrolan kualitas air sungai Brantas sesuai dengan kontrol konsentrasi maksimum yang telah ditetapkan.
2. Sebagai bahan literatur dalam mempelajari kandungan BOD, DO, N dan P di sepanjang sungai atau suatu saluran.
3. Hasil kajian dapat dijadikan bahan masukan bagi instansi-instansi terkait untuk pengontrolan kualitas air pada suatu sungai atau saluran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pencemaran air

Pencemaran air terkait dengan kualitas air yang terkait dengan peruntukannya dan mencerminkan kualitas yang kita kehendaki untuk suatu penggunaan tertentu. Menurut Sasongko S. Adisewojo, pencemaran air diartikan sebagai masuknya zat-zat baik oleh perbuatan manusia maupun alam, sehingga kualitasnya menyimpang dari yang dikehendaki untuk suatu penggunaan tertentu.

Dalam hal ini pencemaran air dapat diidentifikasi melalui berbagai cara, antara lain melalui pengamatan tidak langsung berupa keluhan penduduk pemakai air yang berbau kimia atau menyaksikan kematian ikan di perairan, sedang pengamatan langsung melalui indera untuk mengidentifikasi bau busuk, rasa tidak enak, kekeruhan, pertumbuhan algae. Selain itu identifikasi masalah diperoleh dengan mempelajari laporan hasil penelitian dan monitoring yang dilakukan oleh satu instansi pemerintah maupun swasta. Pada dasarnya ada 4 proses dalam pencemaran air yaitu :

##### 1. Proses Degradasi

Pada tahap ini terjadi proses dekomposisi atau penguraian. Dalam proses ini dibutuhkan oksigen, sehingga kadar oksigen terlarut dalam air akan cepat berkurang dan dapat menjadi 40% saja. Akibatnya air menjadi kotor dan keruh, sehingga sinar matahari tidak dapat masuk ke dalam air.

##### 2. Proses Dekomposisi

Pada tahap ini oksigen terlarut akan turun menjadi 40% - 0%. Apabila pencemaran air tidak berlanjut, DO akan naik lagi sampai 40%. Dan apabila berlanjut, maka tidak akan ada lagi ikan yang hidup. Warna air akan menjadi keabu-abuan atau lebih gelap dari tahap pertama. Suasana keracunan sudah mulai terlihat sangat parah, sebaliknya mikroorganisme yang tergolong "Organik Composer" mulai aktif memproses dekomposisi. DO akan meningkat lagi sedikit demi sedikit bila proses dekomposisi berkurang. Bila pencemaran berlangsung terus tanpa henti, maka proses dekomposisi berjalan hebat.

##### 3. Proses Rehabilitasi

DO terlarut akan meningkat lebih besar. Kehidupan air secara mikroskopis mulai kelihatan, air terlihat lebih jernih dari tahapan sebelumnya. Jamur-jamur mulai hilang dan algae mulai tampak kembali.

#### 4. Proses Penjernihan

Pada proses ini ditandai dengan meningkatnya oksigen terlarut secara maksimal sampai jenuh. Hal ini terjadi antara lain akibat proses fotosintesa dan proses pernafasan yang membebaskan oksigen dan larutnya oksigen dari atmosfer ke dalam air yang selanjutnya keadaan badan air akan pulih kembali.

### 2.2. Sumber-sumber Pencemaran Air

Pencemaran sungai terjadi karena perubahan kualitas air sungai sebagai akibat dari masuknya limbah secara berlebihan oleh berbagai kegiatan pada daerah pengalirannya. Dalam hal ini limbah dapat dibedakan menjadi :

#### 2.2.1. Air Limbah Domestik

Air limbah domestik yaitu air limbah dari daerah pemukiman, daerah perdagangan, daerah kelembagaan. Limbah domestik dapat berupa gas, padat atau cair. Kondisi limbah cair sisa kegiatan mencuci, mandi, dapur dan kakus dipengaruhi banyak faktor yaitu musim/iklim, ada tidaknya pengolah sebelum dibuang ke badan sungai, kualitas kebiasaan hidup masyarakat. Sumber air limbah domestik dari daerah pemukiman penduduk antara lain berupa sampah-sampah dan air buangan rumah tangga. Untuk daerah pemukiman yang kecil, aliran limbah biasanya diperhitungkan melalui kepadatan penduduk dan rerata limbah yang dibuang per orang. Untuk daerah yang luas, perlu dipertimbangkan faktor tata guna lahan, kepadatan penduduk serta ada tidaknya daerah industri dalam penentuan jumlah air limbah.

Tabel 2.1. Rata-rata Aliran Limbah dari Daerah Pemukiman

Sumber	Unit	Aliran gal/unit/hari	
		Antara	Rata-rata
Apartemen			
<i>High-rise</i>	orang	35-75	50
<i>Low-rise</i>	orang	50-80	65
Hotel	orang	30-55	45
Tempat tinggal pribadi			
Rumah pada umumnya	orang	45-90	70
Rumah yang lebih baik	orang	60-100	80
Rumah mewah	orang	75-150	95
Rumah kuno	orang	30-60	45
Rumah musim panas	orang	25-50	40
Motel			
Dengan dapur	unit	90-180	100
Tanpa dapur	unit	75-150	95
<i>Trailer Park</i>	orang	30-50	40

Sumber : Metcalf dan Eddy, 1991 : 27

Keterangan : 1 galon = 3.7854 liter

Tabel 2.2. Angka Koefisien Parameter Polutan untuk Beban Limbah Domestik

Parameter	Beban Limbah (gram/kapita/hari)		
	Urban	Semi Urban	Rural
BOD	28.7	15	6.25
N-Total	3	2.67	2.67
P-Total	2	1.5	1.5

Sumber : *Final Report Surabaya Urban Development Project*, 1999 : 20

### 2.2.2. Air Limbah Industri

Air limbah industri yaitu sisa buangan yang digunakan untuk memproses bahan baku menjadi produk industri. Dalam peningkatan teknologi serta kebutuhan masyarakat, salah satu usaha yang dilakukan adalah pada sektor industri. Dan untuk mengubah bahan baku menjadi bahan produk industri dibutuhkan air dalam proses produksinya.

Berikut ini merupakan tabel rerata aliran limbah dari beberapa jenis industri :

Tabel 2.3. Rerata Aliran Limbah dari Beberapa Jenis Industri

Jenis Industri	Interval Aliran
	( gal/ton produksi )
Pengalangan	
Sayur hijau	12000 – 17000
Buah-buahan	3600 – 4800
Selain buah-buahan dan sayuran	960 – 8400
Kimia	
Amoniak	24000 – 72000
Karbondioksida	14400 – 21600
Laktosa	144000 – 192000
Belerang	1920 – 2400
Makanan dan Minuman	
Bir	2400 – 3800
Roti	480 – 960
Pengepakan daging	3600 – 4800 <sup>a</sup>
Produksi susu	2400 – 4800
Minuman keras	14400 – 19200
Bubur Kertas dan Kertas	
Bubur kertas	60000 – 190000
Kertas	29000 - 38000
Tekstil	
Pengelantangan	48000 – 72000
Pencelupan	7200 – 14400 <sup>b</sup>

Sumber : Metcalf dan Eddy, 1991 : 21

Kerangan :

a berat hidup

b kapas

1 gal/US ton x 0.000417 = 1 m<sup>3</sup> 10<sup>-3</sup> kg

### 2.2.3. Air Limbah Resapan

Air limbah resapan yaitu air dari luar yang masuk ke dalam sistem pembuangan. Apabila turun hujan di suatu daerah, maka air yang turun dengan cepat akan mengalir masuk ke dalam saluran pembuang. Apabila saluran tidak mampu menampung, maka limpahan air hujan akan bergabung dengan saluran air limbah. Dengan demikian akan terjadi penambahan debit yang cukup besar pada saluran air limbah, maka air hujan yang masuk ke dalam saluran air limbah perlu diperhitungkan.

### 2.2.4. Air Limbah Pertanian

Kegiatan pertanian yang dapat secara langsung menyebabkan pencemaran adalah penggunaan berbagai macam pestisida dan pupuk yang terbawa oleh air hujan dan drainasi sawah atau daerah pertanian menuju saluran pengaliran, sungai dan waduk.

## 2.3. Parameter Pencemaran Air

Parameter pencemaran air merupakan indikator yang memberi petunjuk terjadinya pencemaran air. Dan dengan adanya indikator, pencemaran dapat diatasi sedini mungkin atau paling sedikit dikurangi. Bahan-bahan yang digunakan sebagai indikator pencemaran air dibagi menjadi 3 golongan yaitu: parameter fisik, parameter kimiawi dan parameter biologi.

### 2.3.1. Parameter Fisik

Derajat kekotoran air limbah dipengaruhi oleh sifat fisik air yang mudah dilihat. Sifat yang penting adalah :

#### 1. Kekeruhan (*Turbidity*)

Kekeruhan disebabkan banyak faktor, antara lain adanya bahan yang tidak larut seperti debu, tanah liat, bahan organik, anorganik dan mikroorganisme air. Kekeruhan mengganggu penetrasi sinar matahari, sehingga mengganggu fotosintesa tanaman.

#### 2. Temperatur

Temperatur disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kondisi udara sekitarnya, air panas yang dibuang ke saluran dari rumah maupun dari industri. Temperatur perairan dapat bervariasi tergantung adanya pencemaran air. Misalnya pembuangan air limbah dapat menyebabkan kenaikan temperatur perairan (C. Totok Sutrisno, 1996 : 72).

Menurut Linsley, suhu air limbah bervariasi dari musim ke musim dan tergantung pada letak geografisnya. Pada daerah dingin suhu berkisar antara 7 – 18°C, sedang pada daerah panas suhu berkisar antara 13 - 24°C. Pengukuran suhu sangat penting karena kebanyakan instalasi pengolahan air limbah meliputi proses-proses biologis yang bergantung pada suhu.

#### 3. Warna

Warna digunakan untuk mengkaji kondisi air limbah. Jika warnanya coklat muda berarti umur air limbah kurang dari 6 jam. Warna abu-abu muda sampai setengah tua menandakan air limbah mengalami pembusukan dan bila warnanya abu-abu tua atau hitam, berarti air limbah mengalami pembusukan oleh bakteri dalam keadaan anaerob.

#### 4. Bau

Bau menunjukkan apakah air limbah masih baru atau sudah membusuk. Bau air limbah yang baru biasanya tidak terlalu merangsang. Bau yang tidak sedap

disebabkan oleh adanya campuran nitrogen, sulfur, fosfor dan pembusukan protein serta bahan lain. Senyawa yang paling berbau adalah hidrogen sulfida.

### 2.3.2. Parameter Kimiawi

Tidak hanya faktor fisik yang berpengaruh, kandungan kimia yang terdapat pada DPS juga bisa merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam DPS serta menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap dalam penyediaan air bersih. Apabila limbah tersebut mengandung Bahan Bahaya Beracun (B3), limbah tersebut sangat membahayakan. Adapun parameter kimiawi yang dapat digunakan adalah :

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

Yaitu banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/l) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali (Sugiharto, 1987 : 6). Apabila dalam air banyak mengandung bahan-bahan organik, akan mengakibatkan semakin banyaknya oksigen yang diperlukan bakteri untuk menguraikan bahan-bahan organik tersebut, sehingga kandungan oksigen dalam air semakin menurun. Semakin besar angka BOD menunjukkan tingkat kekotoran air semakin besar. Pengukuran BOD penting, karena merupakan parameter untuk menentukan daya cemar air limbah.

#### 2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Yaitu banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/l) yang diperlukan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik secara kimiawi (Sugiharto, 1987 : 6). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Pengukuran COD ini juga dapat digunakan untuk mengukur kekuatan pencemaran.

#### 3. DO (*Dissolved Oxygen*)

Yaitu banyaknya oksigen yang terkandung di dalam air dan diukur dalam satuan milligram per liter. Oksigen yang terlarut ini dipergunakan sebagai tanda derajat pengotoran limbah yang ada. Semakin besar oksigen yang terlarut, maka menunjukkan derajat pengotoran yang relatif kecil (Sugiharto. 1987 : 7).

#### 4. TDS (*Total Dissolved Solid*)

Yaitu jumlah berat dalam mg/l material yang tersisa pada air setelah dilakukan penyaringan dengan membran berukuran  $\sim 10 \mu\text{m}$ . *Dissolved Solid* dihasilkan dari proses larutnya zat padat, cair dan gas. Larutan tersebut dapat berupa organik atau



anorganik. Zat-zat anorganik meliputi mineral, logam dan gas. Air akan berhubungan dengan zat-zat tersebut di atmosfer, di permukaan tanah dan di dalam tanah. Material yang berasal dari hasil pembusukan tanaman, bahan kimia organik dan gas organik merupakan unsur pokok dari *dissolved solid*.

5. Derajat Keasaman (pH)

Yaitu konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ). Derajat keasaman ini merupakan ukuran keasaman dan kebebasan dari suatu larutan. Organisme sangat peka terhadap perubahan ion hidrogen. Pada proses penjernihan air dan air limbah, pH menjadi patokan untuk meningkatkan efisiensi proses penjernihan. Tingginya konsentrasi ion hidrogen menunjukkan perairan bersifat asam, sebaliknya cairan basa menunjukkan konsentrasi ion hidroksil ( $OH$ ) lebih tinggi daripada konsentrasi ion hidrogen.

6. Fosfat

Fosfat biasanya terdapat di perairan dalam bentuk anorganik dan organik sebagai larutan, debu dan tubuh organisme. Sumber utama fosfat anorganik dari penggunaan detergent, alat untuk pembersih keperluan rumah tangga dan industri, serta pupuk pertanian. Fosfat organik berasal dari makanan dan buangan rumah tangga. Fosfat merupakan faktor yang menentukan produktivitas badan air yang menyebabkan pertumbuhan air.

7. Nitrat

Nitrat, nitrit dan amonia adalah senyawa nitrogen organik yang menentukan kualitas air. Nitrat biasanya ada di air permukaan dalam konsentrasi kecil. Nitrat adalah unsur yang penting dalam fotosintesis tanaman air.

8. Sulfat

Untuk menguji seberapa jauh lumpur buangan dapat diolah.

9. Alkalinitas

Suatu ukuran kapasitas air dalam menetralkan asam-asam.

10. Logam-logam berat

Untuk menguji seberapa jauh air limbah dapat dipakai lagi serta berpengaruh peracunan dalam pengolahan.

11. Klorida

Kadar klorida dalam air alami dihasilkan dari rembesan klorida yang ada di dalam batuan dan tanah serta dari daerah pantai dan rembesan air laut. Untuk menguji kecocokan air limbah untuk digunakan bagi kepentingan pertanian.

## 12. Zat-zat beracun

Zat-zat yang sangat beracun terhadap mikroorganisme adalah tembaga, timbal, perak, krom, arsen dan boron.

### 2.3.3. Parameter Biologi

Berbagai macam organisme yang hidup di perairan adalah plankton, peryphyton, macrophyton, organisme bentos dan ikan. Keterangan mengenai kondisi dan kesehatan organisme air dapat memberikan petunjuk kualitas air.

Secara umum parameter biologis dikelompokkan sebagai :

1. Organisme coliform, untuk menguji kemungkinan adanya bakteri pathogen dan efektifitas proses klorinisasi
2. Mikroorganisme khusus, untuk menguji kemungkinan adanya organisme khusus sehubungan dengan gerasi instalasi dan pemakaian kembali air limbah.

### 2.4. Baku Mutu Air Buangan

Baku mutu air buangan dimaksudkan untuk mencegah timbulnya pencemaran air lebih dini. Baku mutu air buangan dibuat dalam standar air buangan (*effluent standart*), yaitu karakteristik air yang diisyaratkan bagi air buangan yang akan disalurkan ke sumber air, sawah, tanah dan tempat lainnya, di dalam penyusunannya telah dipertimbangkan pengaruh terhadap pemanfaatan sumber air yang menampungnya dan faktor ekonomis pengolahan air buangnya (A.Aziz Hoesin 1984 : 81).

Untuk pengendalian pencemaran lingkungan khususnya pencemaran terhadap air sungai, maka berdasarkan peraturan terbaru yaitu Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air, baku mutu air digolongkan menjadi :

1. Golongan I : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas I  
Air kelas satu adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Golongan II : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas II  
Air kelas dua adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

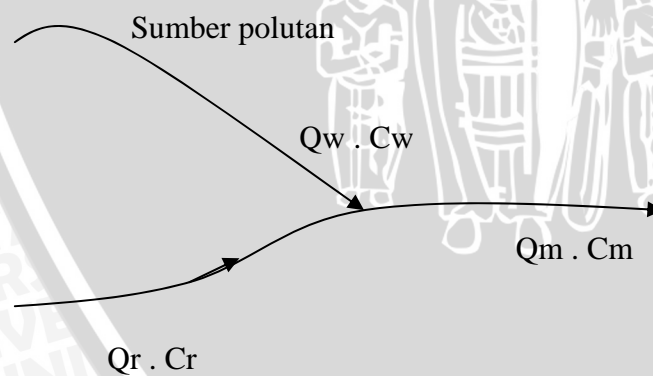
3. Golongan III : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas III  
Air kelas tiga adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Golongan IV : yaitu limbah cair yang dibuang kedalam air kelas IV  
Air kelas empat adalah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

### 2.5. Konsentrasi Limbah

Limbah cair yang dibuang ke aliran sungai akan bercampur dengan air sungai. Kekentalan dari hasil percampuran dapat diketahui dengan menghitung jumlah total massa (beban limbah atau jumlah beban limbah per satuan volume).

Persamaan umum kesetimbangan massa untuk menghitung konsentrasi limbah adalah sebagai berikut :

$$Q_m \cdot C_m = Q_r \cdot C_r + Q_w \cdot C_w \quad (2-1)$$



Gambar 2.1. Pengaruh sumber Polutan terhadap Sungai

dengan :

$Q_m$  = Debit sungai setelah menerima limbah ( $m^3/dt$ )

$C_m$  = Konsentrasi air sungai setelah menerima limbah ( $kg/dt$ )

$Q_r$  = Debit sungai sebelum menerima limbah ( $m^3/dt$ )

$C_r$  = Konsentrasi air sungai sebelum menerima limbah (kg/dt)

$Q_w$  = Debit air yang mengandung limbah ( $m^3/dt$ )

$C_w$  = Konsentrasi limbah (kg/dt)

Jumlah debit air setelah menerima limbah ( $Q_m$ ) :

$$Q_m = Q_r + Q_w \quad (2-2)$$

Konsentrasi bahan limbah di sungai adalah :

$$C_m = \frac{(Q_r.C_r) + (Q_w.C_w)}{Q_r + Q_w} \quad (2-3)$$

## 2.6. Swa Pemurnian Sungai (*Self Purification*)

Pada air permukaan memang telah terjadi bentuk polusi yang alami dan proses pemurnian alami dapat menghilangkan atau setidaknya menjadikan air tersebut tidak berbahaya lagi bagi kesehatan. Namun, sejalan dengan perkembangan penduduk dengan segala aktivitasnya, jumlah dan perubahan polutan alami yang masuk ke sungai akan meningkat pula sampai melebihi kapasitas swa pemurnian dari badan air setempat. Pengaruh pengotoran sungai lambat laun akan mempengaruhi kualitas air secara keseluruhan dari daerah tercemar sampai ke danau atau ke laut.

Pengolahan limbah sendiri oleh badan air merupakan fungsi dari penyerapan dan pelepasan oksigen terlarut yang ada di dalam air tersebut. Limbah cair yang mencampuri aliran sungai akan mengalami proses fisik karena aliran air dan faktor lain seperti deoksigenasi dan aerasi sehingga akan pulih bersih kembali. Kejadian ini memang dapat dipercepat atau diperlambat oleh banyak faktor. Akan tetapi dalam proses ini, kelarutan dari oksigenlah yang banyak memegang peranan penting, meski tidak mengesampingkan faktor-faktor lain seperti kecepatan air, debit, keadaan aliran pada sungai atau saluran dan lain sebagainya. Dalam proses swa pemurnian sungai, dilibatkan juga mikroorganisme-mikroorganisme seperti bakteri, protozoa, algae, dan organisme tingkat rendah lainnya.

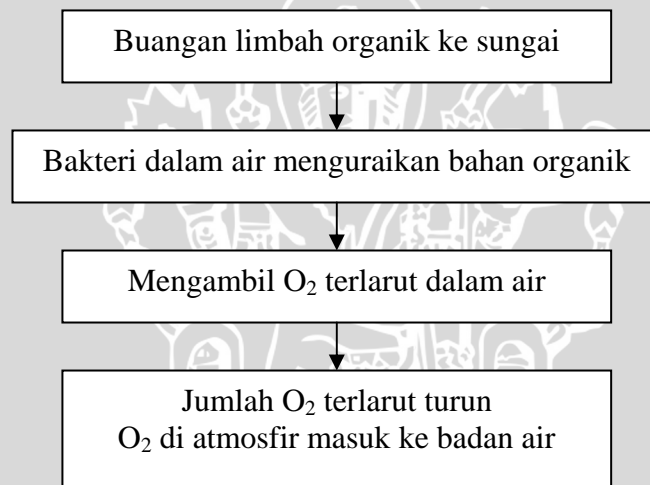
Keadaan aliran pada sungai atau saluran akan memberikan pengaruh pada proses *self purification* baik yang menguntungkan atau malah dapat merugikan. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah : (Steel, 1960:466)

1. Pengenceran, dengan air yang banyak, yang mengandung banyak oksigen terlarut (DO), dapat mencegah penurunan nyata kualitas air pada suatu aliran, atau dapat membuat perlindungan bagi keadaan aerobik. Dengan perhitungan yang kasar dapat

ditunjukkan bahwa pentingnya pengenceran akan menambah kadar oksigen terlarut dalam air.

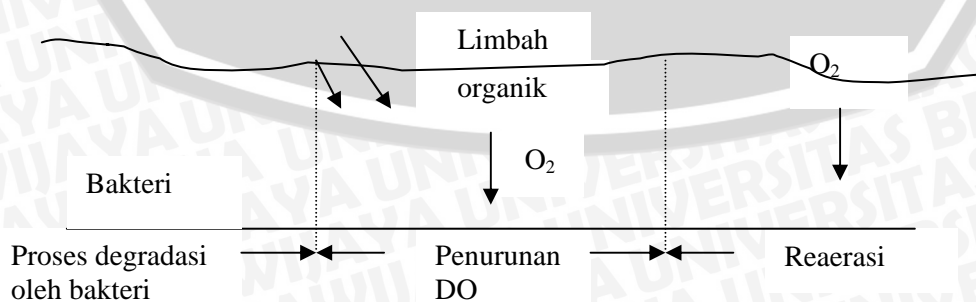
2. Arus air, campuran yang seksama dari air limbah dengan air pengencer akan mencegah gangguan-gangguan setempat dan menguraikan material-material organik. Adanya pusaran dan gejala *back water*, menyebabkan terbentuknya lumpur dan dapat menyebabkan gangguan-gangguan lainnya. Arus yang cepat, khususnya bila terjadi aliran deras, dapat mempercepat proses reaerasi pada permukaan air sehingga kadar oksigen terlarut dalam air akan bertambah dengan cepat pula. Aliran air yang lambat dapat menyebabkan pengendapan butiran-butiran sediment yang mempercepat proses penjernihan serta memberi peluang pada algae untuk tumbuh dengan baik. Dari hasil fotosintesis algae tersebut, dapat menambah kadar oksigen yang terlarut dalam air.
3. Sedimentasi, butiran-butiran kasar mengendap dan membentuk lapisan Lumpur dimana terjadi penguraian secara anaerobik. Arus akan membawa dan mencampur produk yang dihasilkan oleh pengurai dengan air yang mengalir. Dengan pengenceran yang cukup, ada kemungkinan tidak memerlukan keberadaan oksigen. Penggelontoran yang disebabkan oleh banjir akan mengaduk dan menceraiberaikan lapisan lumpur secara baik yang kemudian membawanya ke bagian hilir yang selanjutnya dapat membunuh ikan-ikan dengan mengotori insangnya.
4. Sinar matahari, bertindak sebagai pembasmi bakteri merugikan yang dapat menimbulkan penyakit. Selain itu, sinar matahari juga bertindak sebagai perangsang pertumbuhan algae dengan cara menyediakan oksigen oleh proses fotosintesa algae dan fitoplankton di dalam air. Sinar matahari membantu mempercepat proses oksidasi pada air yang tidak stabil. Karena sinar matahari hanya bersinar pada siang hari saja, maka kandungan oksigen terlarut dalam air akan banyak berkurang di malam hari.
5. Temperatur, temperatur yang rendah dapat memperlambat atau bahkan menghentikan aktivitas organisme-organisme pengurai. Pada musim panas penguraian limbah terjadi lebih cepat dibandingkan dengan penguraian pada musim dingin. Pada dasarnya kelarutan oksigen dalam air mempunyai nilai yang lebih kecil pada organik temperatur tinggi bila dibandingkan dengan air yang bersuhu rendah. Oleh karena gangguan-gangguan waktu kritis pada saat musim panas sangat perlu diperhatikan.

Kapasitas asimilasi merupakan kemampuan air melarutkan oksigen ke dalam air. Ukuran kapasitas asimilasi adalah kandungan oksigen terlarut (DO). Ukuran beban terhadap kapasitas ini adalah BOD. Oksigen terlarut dimanfaatkan pada oksidasi BOD secara alami digantikan oleh oksigen tambahan dari udara. Kecepatan penggantian oksigen ini disebut kecepatan reaerasi. Kecepatan oksigen yang dipakai disebut kecepatan deoksigenasi. Mulanya tingkat DO mulai turun akibat efek primer kecepatan deoksigenasi. Pada saat bersamaan terjadi reduksi BOD. Turunnya DO mengakibatkan reaerasi. Setelah jarak alir tertentu DO mencapai minimum, selanjutnya meningkat kembali ke tingkat seimbang. Selama waktu itu BOD turun ke level setimbang. Model yang menggambarkan proses pemulihan kembali akibat buangan limbah organik ke dalam sungai sebagai berikut (Streeter dan Phelps, 1925) :



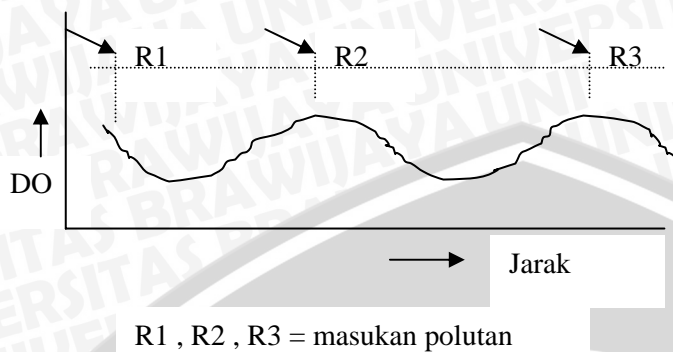
Gambar 2.2. Bagan Proses Pemulihan Kembali Akibat Buangan Limbah ke Sungai

Gambaran di badan sungai berdasarkan teori Streeter dan Phelps sebagai berikut



Gambar 2.3. Fenomena Sva Pemurnian Sungai

Berdasarkan model tersebut, hubungan jarak aliran mulai dari titik pencemaran air dengan nilai oksigen terlarut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Jarak Aliran dengan Nilai Oksigen Terlarut

### 2.7. Pelepasan dan Penyerapan Oksigen Terlarut

Pada saat air kotor bersentuhan dengan udara, oksigen diserap lagi untuk menggantikan oksigen terlarut yang sudah dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan oksigen biokimia (BOD) dari limbah tersebut. Air dan udara di atasnya selalu menjaga keseimbangan satu sama lain sehingga bila konsentrasi oksigen terlarut (DO) turun di bawah nilai jaraknya maka oksigen akan bergerak masuk ke dalam air melalui proses aerasi. Perbedaan antara konsentrasi pada kondisi jarak dengan konsentrasi actual dinamakan sbagai defisit oksigen dan secara matematis dinyatakan sebagai berikut (Tchobanologlous, 1986:84) :

$$D = C_s - C \quad (2-4)$$

dengan :

$D$  = defisit oksigen terlarut (mg/l),

$C_s$  = konsentrasi DO dalam keadaan jenuh (mg/l)

$C$  = konsentrasi DO pada suhu tertentu (mg/l).

Konsentrasi DO dalam keadaan jenuh selalu konstan pada suhu tertentu, maka  $C_s$  tidak mengalami perubahan, sedangkan laju defisit oksigen mengalami perubahan yang besarnya dipengaruhi waktu, sehingga persamaan menjadi sebagai berikut :

$$\frac{dD}{dt} = - \frac{dC}{dt} \quad (2-5)$$

Jadi, defisit meningkat setara dengan meningkatnya penggunaan oksigen. Defisit oksigen terlarut mengendalikan kekuatan dari reaerasi. Semakin besar defisit maka semakin besar pula harga reaerasi.

### 2.7.1. Laju Pelepasan Oksigen (Deoksigenasi)

Tchobanologous (1986) berpendapat bahwa konsentrasi DO dalam air akan menurun bertepatan dengan peningkatan konsentrasi BOD.

$$\frac{dy}{dt} = - \frac{dC}{dt} \quad (2-6)$$

Substitusi persamaan (2-5),

$$\frac{dy}{dt} = - \frac{dD}{dt} \quad (2-7)$$

$$y = L_o + L_t$$

dengan :

$y$  = BOD yang digunakan selama waktu ( $t$ )

$L_o$  = BOD ultimate

$L_t$  = sisa BOD pada waktu ( $t$ )

$L_o$  merupakan nilai optimasi dan konstan maka dapat ditulis persamaan :

$$\frac{dy}{dt} = - \frac{dL_t}{dt} \quad (2-8)$$

$$\frac{dy}{dt} = k \cdot L_t \quad (2-9)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2-7) dan (2-8) secara substitusi dihasilkan :

$$\frac{dD}{dt} = k \cdot L_t \quad (2-10)$$

Keadaan tersebut merupakan reaksi orde satu dan menunjukkan besarnya perubahan pengurangan oksigen terlarut pada saat  $t$  dari BOD sebanding dengan oksigen ekuivalen bahan organik yang tersisa. Dari persamaan (2-10) laju pelepasan oksigen dirumuskan sebagai berikut :

$$r_d = k_d \cdot L_t \quad (2-11)$$

dengan :

$r_d$  = laju pelepasan oksigen ( $\text{mg/l hari}^{-1}$ )

$k_d$  = koefisien deoksigenasi ( $\text{hari}^{-1}$ )

$L_t$  = sisa BOD dari karbon pada waktu  $t$  ( $\text{mg/l}$ )

### 2.7.2 Laju Penyerapan Oksigen (Reoksigenasi)

Pada proses penyerapan oksigen (reaerasi) yang diserap oleh air dipergunakan untuk menggantikan DO yang dikonsumsi dalam mendegradasi BOD air. Meskipun



reaerasi berlangsung tidak menjamin DO meningkat, hal ini mungkin disebabkan karena kecepatan deoksigenasi lebih cepat daripada proses reaerasi.

Proses penyerapan dan pelepasan oksigen terjadi secara bersamaan, maka laju penyerapan oksigen  $r_a$  dapat dinyatakan (Tchobanoglous, 1986:86) :

$$r_a = -k_a \cdot D \quad (2-12)$$

dengan :

$r_a$  = laju penyerapan oksigen ( $\text{mg/l hari}^{-1}$ )

$k_a$  = koefisien reaerasi ( $\text{hari}^{-1}$ )

$D$  = defisit oksigen pada waktu  $t$  ( $\text{mg/l}$ )

Tanda negatif pada persamaan-persamaan di atas menunjukkan secara fakta bahwa penambahan oksigen mereduksi pengurangan oksigen. Nilai  $k_a$  merupakan nilai yang spesifik. Faktor yang mempengaruhi  $k_a$  meliputi turbulensi aliran (fungsi dari kecepatan dan karakteristik saluran/sungai), luas permukaan, kedalaman air dan suhu.

## 2.8. Kurva Kelenturan oksigen (*Sag Oxygen Curve*)

Kekurangan oksigen akan terjadi apabila laju pelepasan lebih besar daripada kecepatan penyerapan kembali oksigen. Bila kekurangan oksigen terlarut ditentukan pada beberapa titik di hilir dan nilai-nilainya diplotkan, maka hasil yang akan didapat adalah kurva lengkung kelenturan oksigen (*Sag Oxygen Curve*) atau hubungan dinamis antara beban pencemaran BOD dan DO. Perbedaan antara lengkung-lengkung kelenturan oksigen tersebut menunjukkan pengaruh dari penyerapan kembali oksigen.

Tchobanoglous (1986) berpendapat bahwa penggunaan oksigen dalam aliran merupakan fungsi dari proses reaerasi. Laju perubahan defisit oksigen merupakan fungsi penjumlahan dari proses reaerasi dan deoksigenasi dan dapat dinyatakan dengan :

$$\frac{dD}{dt} = r_D + r_R \quad (2-13)$$

maka,

$$\frac{dD}{dt} = k_d \cdot L_t - k_a \cdot D \quad (2-14)$$

dengan :

$k_d L_t$  = deoksigenasi yang menaikkan deficit DO sesuai dengan residu BOD ( $L_t$ )  
dari koefisien deoksigenasi  $k_d$

$k_a D_t$  = reaksi reaerasi yang mengurangi defisit sesuai dengan defisit pada waktu ( $t$ )

dan koefisien  $k_a$

Persamaan sag adalah sebagai berikut :

$$D_t = \frac{k_d L_d}{k_a - k_d} (10^{-k_d t} - 10^{-k_a t}) + D_o 10^{-k_a t} \quad (2-15)$$

dengan :

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

$D_o$  = defisit mula-mula pada titik aliran limbah pada saat  $t = 0$  (mg/l)

Laju pada saat pengurangan oksigen terlarut berubah adalah sama dengan (Linsley,1986:265) :

$$\frac{dD}{dt} = k_d \cdot L_t - k_a \cdot D = 0 \quad (2-16)$$

Tanda minus pada persamaan (2-15) didasarkan pada kenyataan bahwa penyerapan kembali oksigen menurunkan pengurangan oksigen.

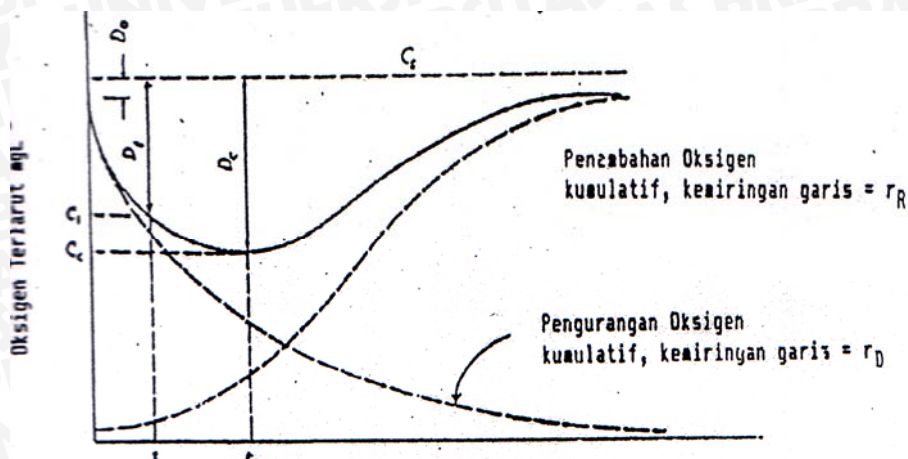
Waktu  $t$  pada saat oksigen terlarut berada pada keadaan minimum dapat ditentukan dengan (Linsley,1986:267) :

$$t_c = \frac{1}{k_a - k_d} \log \left[ \left( \frac{k_d L - k_a D_o + k_d D_t}{k_d L} \right) \frac{k_a}{k_d} \right] \quad (2-17)$$

Dan kekurangan oksigen kritis diekspresikan dengan :

$$D_c = \frac{k_d x L}{k_a} x 10^{-k_d t_c} \quad (2-18)$$

Secara grafis dilukiskan dua proses yang berlawanan dan karakteristik dari kelenturan oksigen dalam air seperti gambar 2.5. berikut ini :



Gambar 2.5. Karakteristik Kurva Kelenturan Oksigen

Sumber : Tchobanologous, 1986 : 87

### 2.9. Proses Transpor Air Limbah

Proses tranpor air limbah didasarkan pada persamaan keseimbangan massa, dengan bentuk persamaan umumnya adalah sebagai berikut (Metcalf dan Eddy,1991:1191) :

Jumlah peningkatan massa pada volume kontrol	=	Jumlah massa yang masuk volume kontrol	+	Jumlah massa yang keluar volume kontrol	+	Jumlah massa yang berkembang volume kontrol	-	Jumlah massa yang hilang di volume kontrol	(2-19)
--	---	--	---	---	---	---	---	--	--------

Persamaan di atas dapat diberlakukan pada danau, sungai, saluran ataupun daerah muara sungai.

Partikel suatu bahan pencemar dalam penyebarannya pada badan sungai mempunyai bentuk khusus. Setiap partikel mengalir dengan kecepatan yang berbeda-beda, ini disebabkan oleh variasi turbulensi, friksi dan meander sungai. Transpor air limbah yang terjadi adalah melalui 2 (dua) mekanisme, yaitu :

1. Adveksi, merupakan pergerakan beban limbah sepanjang debit sungai yang mengalir atau juga disebut sebagai proses transport unsur-unsur pokok yang terlarut sebagai akibat adanya aliran air. Dinyatakan sebagai  $Q \cdot C$



2. Dispersi, merupakan pergerakan baban limbah sepanjang jarak pemampang melintang akibat putaran turbulen air. Dinyatakan sebagai  $D \cdot A \cdot dc/dt$

Pemakaian kata dispersi umumnya dilakukan untuk angkutan yang dihubungkan dengan variasi kecepatan dalam arah vertikal untuk membedakan dengan difusi yang berkaitan dengan rata-rata fluktuasi kecepatan terhadap waktu.

### 2.10. Model Simulasi QUAL-2E

Model simulasi QUAL-2E merupakan salah satu model kualitas air yang paling sering dipakai. *Software* ini secara umum dipilih karena memberikan beberapa manfaat, antara lain :

1. Mampu mendeskripsikan kecenderungan dan kondisi rata-rata suatu parameter kualitas air, sehingga minimal mampu memberikan informasi yang cukup pada penggunaan praktis.
2. Ekstrapolasi, pendugaan atas kemungkinan yang terjadi pada kondisi berbeda.
3. Sebagai sarana untuk memprediksi kualitas air yang berguna untuk umpan balik dalam hal estimasi dan evaluasi dampak yang mungkin terjadi.

Model simulasi kualitas air dengan QUAL-2E ini dibuat oleh EPA-USA yang bermarkas di Athens Georgia Amerika Serikat dan mendapat dukungan dari *Uniteds Environment Protection Agency*. Program ini digunakan dalam simulasi kualitas air seungai sehubungan dengan beban limbah yang diterimanya dengan dipengaruhi kondisi lingkungan dan parameter yang ada (hidrologi, klimatologi dan bahan pencemar). Program ini berupa paket program komputer yang ditulis dalam bahasa ANSI FORTRAN 77.

#### 2.10.1. Tinjauan Parameter Program QUAL-2E

Program QUAL-2E dapat memodelkan 15 konstituen dalam berbagai kombinasi sesuai permintaan model, konstituen tersebut adalah :

1. DO (*Dissolved Oxygen*)
2. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)
3. Temperatur
4. Alga
5. Nitrogen Organik
6. Amoniak
7. Nitrat
8. Nitrit

9. Fosfor Organik
10. Fosfor Terlarut
11. Coli
12. Satu Konstituen Nonkonservatif
13. Tiga Konstituen Konservatif

### 2.10.2. Gambaran Prototipe dan Batasan Umum QUAL-2E

Seperti halnya model-model yang ada, QUAL-2E mempunyai batasan-batasan pemodelan, yaitu :

1. Jumlah *reach* (sub unit dari panjang dalam beberapa stretch) maksimum 25 buah
2. Elemen *junction* (pertemuan antara dua sungai/saluran dalam daerah yang dimodelkan) maksimum 6 buah
3. Elemen komputasi maksimum 20 tiap *reach*
4. Elemen *head water* maksimum 7 buah
5. Elemen *input* dan *withdrawal* (pengambilan air) maksimum 25 buah

Program QUAL-2E dapat digunakan untuk berbagai modifikasi sistem sungai dengan anggapan *one dimensional system*. Langkah pertama yaitu membagi sistem sungai dalam *reach-reach*, dimana tiap *reach* mempunyai kondisi hidrolis seragam dan tiap *reach* dibagi dalam elemen komputasi dengan panjang yang sama. Semua *reach* terdiri dari beberapa elemen komputasi. Ada 7 perbedaan tipe dari elemen komputasi :

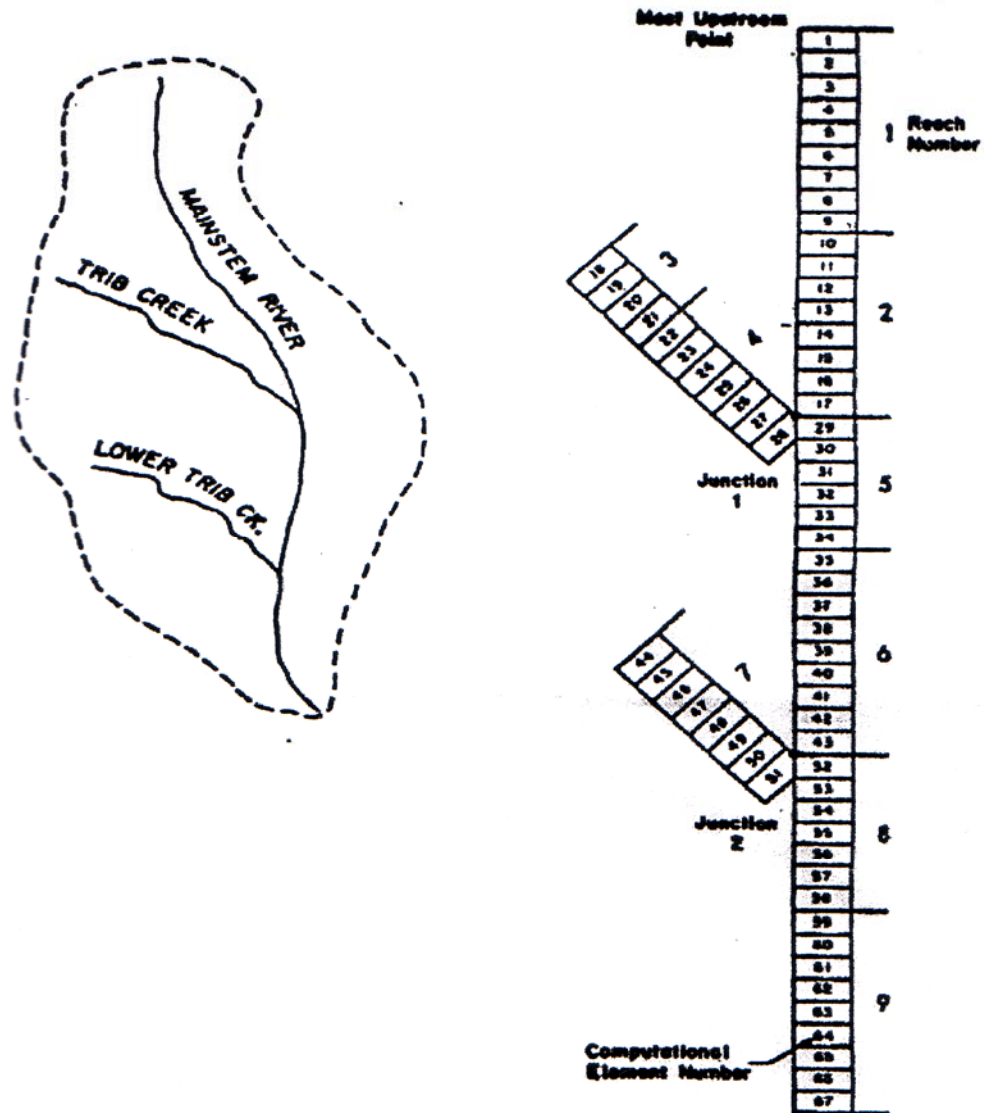
1. Elemen *head water*, merupakan elemen pertama dalam *reach*
2. Elemen standar, merupakan elemen yang tidak memenuhi syarat salah satu dari keenam elemen lainnya. Input yang diijinkan dalam elemen standar ini hanyalah *incremental flow*.
3. Elemen *upstream* hanya dari *junction*
4. Elemen *junction*, dipakai apabila ada anak sungai yang disimulasikan masuk dalam sistem sungai
5. Elemen terakhir dari sistem, dipakai untuk elemen komputasi yang terakhir dari sistem sungai (hanya 1 buah)
6. Elemen input, digunakan jika ada input dari beban limbah terpusat atau anak sungai yang tidak disimulasikan
7. Elemen *withdrawal*, digunakan apabila ada *withdrawal* (pengambil air) dalam sistem sungai

Sistem pembebanan pada sistem sungai berdasarkan QUAL-2E dibedakan atas :

1. *Incremental Flow*, yaitu penambahan debit air sungai secara teratur di sepanjang *stretch* yang meliputi buangan penduduk (domestik) di sepanjang sungai yang ditinjau
2. *Point Load*, yaitu pembebanan atau penambahan debit terkonsentrasi dari suatu titik, meliputi anak sungai yang tidak diakumulasikan dan buangan industri yang masuk (dibuang) ke sungai yang ditinjau
3. *Withdrawal*, yaitu pengambilan atau pengurangan debit pada suatu titik tertentu, meliputi pengambilan untuk instalasi air minum

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



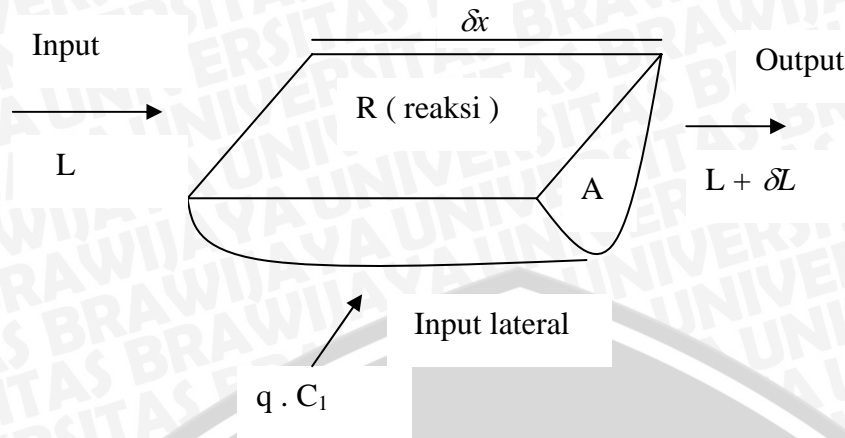


Gambar 2.6 Pembagian Elemen Komputasi dan Reach

Sumber : (*The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL-2E Documentation and User Manual*, 1987 : 13)

### 2.10.3. Kestimbangan Massa (*Mass Balance*)

Prinsip dasar model kualitas air adalah persamaan kestimbangan massa, yang memperhitungkan semua materi yang masuk dan keluar dari volume kontrol. Materi mempunyai dimensi  $ML^{-3}$  dan diberi symbol C. Materi terlarut C pada sungai diasumsikan homogen dalam arah lebar dan kedalaman sungai, sehingga materi terlarut C bervariasi terhadap jarak dan waktu. Total jumlah materi yang mengalir disebut dengan beban (*Load*) L.



Gambar 2.7 Keseimbangan Massa jika Diaplikasikan pada Kondisi Umum Segmen Sungai

Keterangan :

$\Delta x$  = panjang segmen (m)

$\Delta t$  = waktu dalam  $\Delta x$  (dt)

R = laju reaksi (bio-fisik-kimia) ( $\text{g}/\text{m}^3/\text{dt}$ )

q = aliran lateral ( $\text{g}/\text{m}^2$ )

$A \cdot \Delta x$  = volume segmen ( $\text{m}^3$ )

Sehingga dapat dinyatakan :

1. Input :  $L \cdot \Delta t$
2. Input lateral :  $q \cdot C_1 \cdot \Delta x \cdot \Delta t$
3. Output :  $(L + \Delta L) \Delta t$
4. Hasil reaksi :  $\pm R \cdot A \cdot \Delta x \cdot \Delta t$

Maka input dikurangi output adalah :

$$L\Delta t + q.C_1.\Delta x.\Delta t - (L + \Delta L)\Delta t \pm R.A.\Delta x.\Delta t$$

$$\left( \frac{-\Delta L}{\Delta x} + qC_1 + RA \right) \Delta x.\Delta t \tag{2-20}$$

Jika konsentrasi awal C dan setelah interval  $\Delta t$  menjadi  $C + \Delta C$  maka storage pada segmen :

$$= (C + \Delta C)Ax - CA\Delta x$$

$$= A \Delta C \Delta x$$

$$= \frac{A\Delta C}{\Delta t} \Delta x \Delta t \tag{2-21}$$





Persamaan (2-21) akan sama dengan (2-22)

$$\left( \frac{-\delta L}{\delta x} + qC1 + RA \right) \delta x \delta t = \frac{A \delta C}{\delta t} \delta x \delta t$$

$$\frac{A \delta C}{\delta t} \delta x \delta t = \frac{-\delta L}{\delta x} + qC1 + RA$$

Dengan memasukkan persamaan  $L = QC - DA \delta C / \delta t$ , diperoleh

$$\frac{A \delta C}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left( DA \frac{\delta C}{\delta x} \right) - \frac{\delta QC}{\delta x} + qC + RA$$

(V) (I) (II) (III) (IV) (2-22)

Dengan :

- (V) = Mass storage
- (I) = perubahan karena dispersi
- (II) = perubahan karena adveksi
- (IV) = perubahan karena reaksi

Persamaan diatas dapat ditulis sebagai :

$$\frac{\delta C}{\delta t} = \frac{(DA \delta C / \delta x)}{A \delta x} - \frac{\delta(AuC)}{\delta x} + \frac{dC}{dt} + \frac{s}{v}$$

(2-23)

Dengan :

- V = A . dx
- s = massa hasil reaksi (g/dt)

## 2.12. Koefisien – koefisien Pemodelan

### 2.12.1. Koefisien Laju Pelepasan Oksigen / Deoksigenasi ( $k_d$ )

Koefisien laju pelepasan oksigen tidak hanya bergantung pada waktu dan temperatur saja, akan tetapi tidak hanya bergantung pada waktu dan temperatur juga pada tipe bahan organik yang ada dan kondisi biologis, kimiawi dan fisik air limbah yang ada. Perhitungan koefisien ini biasanya dilakukan pada suhu 20°C.

Harga  $k_d$  dan  $k_s$  didekati dengan persamaan (2-26) berikut ini (Linsley,1986:256) :

$$Y_t = L_D (1 - 10^{-kt})$$

(2-24)

Dengan :

- $Y_t$  = BOD dalam air
- $L_D$  = BOD ultimate ( $\text{mgL}^{-1}$ )
- $k$  =  $k_d + k_s$

Untuk BOD<sub>5</sub> maka :

$$Y_5 = L_D (1 - 10^{-k \cdot 5}) \quad (2-25)$$

Nilai  $k$  merupakan nilai hubungan antara konsentrasi BOD dan waktu. Nilai  $k$  ditulis dalam bilangan dasar 10. Hubungan antara  $k_d$  dengan  $k$  adalah (Metcalf dan Eddy, 1991:75) :

$$k = \frac{k_d}{2.303}$$

Nilai  $k_d$  dicari dengan persamaan berikut (Linsley, 1986:256)

$$k_d = k_{d20} 1.047^{T-20}$$

Nilai  $k_{d20}$  biasanya berkisar antara 0,05 sampai 0,20 perhari. Untuk buangan biologis berkisar antara 0,05 sampai 0,10 perhari.

### 2.12.2. Koefisien Laju Penyerapan Oksigen / Reaerasi ( $k_a$ )

Koefisien penyerapan kembali oksigen  $k_a$  dapat diperkirakan dengan mengetahui ciri – ciri aliran serta pemakaian salah satu dari berbagai rumus empiris yang telah banyak diusulkan. Suatu rumus umum yang diajukan O'Connor dan Dobbins adalah (Linsley, 1986:266) :

$$k_a = 127 \frac{(MV)^{1/2}}{H^{3/2}} \quad (2-28)$$

dengan :

M = koefisien difusi molekular pada 20°C (m<sup>2</sup>/hari)

V = kecepatan sungai rata-rata (m/dt)

H = kedalaman aliran rata-rata (m)

Koefisien difusi molekular pada suhu T didapat dari (Linsley, 1986:266) :

$$M_T \text{ ft}^2 / \text{hari} = 0.00192 \times 1.04^{(T-20)} \quad (2-29)$$

### 2.13. Beban Pencemaran Air Limbah

Beban pencemaran merupakan salah satu parameter paling penting yang sangat mempengaruhi baku mutu kualitas air. Beban pencemaran adalah jumlah suatu parameter pencemaran yang terkandung dalam sejumlah air atau limbah, dinyatakan dalam satuan jumlah parameter pencemaran, biasanya sebagai satuan berat atau untuk aliran air limbah dinyatakan dalam satuan jumlah parameter pencemaran per satuan waktu.

Beban pencemaran dapat ditentukan dengan mengukur kadar parameter pencemaran dan volume atau debit aliran air atau limbah yang bersangkutan. Nilai beban pencemaran tersebut dihitung dengan :

$$L = Q_0 \times C_0 \quad (2-30)$$

Untuk mengubah data limbah industri menjadi data beban digunakan rumus sebagai berikut :

$$L = 86.4 \times Q \times C \quad (2-31)$$

Dengan :

L = baban pencemaran (kg/hari)

Q = debit ( $m^3/dt$ )

C = konsentrasi parameter pencemar (mg/l)

Angka 86.4 dari persamaan (2-31) berasal dari konversi satuan, yaitu :

$$\begin{aligned} L &= m^3 / dt \times mg / lt \\ &= 10^3 \text{ lt} / (8.64 \times 10^4)^{-1} \text{ hari} \times 10^{-6} \text{ kg} / \text{lt} \\ &= 86.4 \text{ kg} / \text{hari} \end{aligned}$$



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lingkup Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku aliran BOD, DO, N dan P pada sungai yang kemudian dapat dibuat analisa. Studi kasus yang digunakan untuk kajian adalah sungai Brantas bagian hulu stasiun pengamatan kualitas air Jembatan Pendem sampai dengan stasiun pengamatan kualitas air Kedung Pedaringan. Lokasi stasiun pengamatan dapat dilihat pada gambar 3.1. Sedangkan batasan waktu yang dikaji adalah mulai tahun 2005 dan tahun 2006.

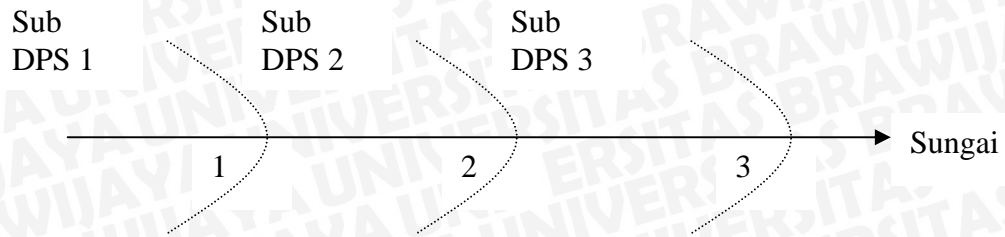
### 3.2. Tahapan Penelitian

Data kualitas air BOD, DO, N dan P dikumpulkan dan diamati secara rutin oleh Perum Jasa Tirta setiap bulannya pada titik-titik pengamatan sepanjang sungai utama (*main stream*). Selain data-data dari stasiun pengamatan, dipantau juga keluaran dari pabrik atau industri besar. Sedangkan untuk industri kecil, menengah dan penduduk (domestik) keluaran polutannya dianggap sebagai "*non point source pollutant*" sehingga untuk titik-titik polutannya diambil secara *zoning* dengan jarak tertentu. Langkah-langkah penelitian dilakukan sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data-data yang diperlukan, antara lain :
  - Peta Topografi.
  - Peta lokasi penyebaran industri.
  - Peta lokasi stasiun pengamatan kualitas air.
  - Peta lokasi penyebaran penduduk di sekitar lokasi penelitian.
  - Data hidrologi, meliputi data debit, data AWLR dan sebagainya.
  - Data hidrolika, meliputi data penampang sungai.
2. Penentuan elemen – elemen beban pencemaran.
3. Plot stasiun pengamat kualitas air di peta.
4. Buat masing – masing DPS (*remaining basin*) di titik pengamatan.



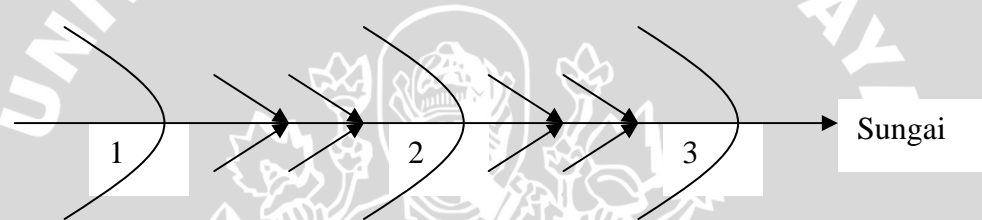




DPS 1, DPS 2, dan DPS 3 adalah *remaining basin* (DPS antara)

Gambar 3.2 Letak *Remaining Basin*

5. Survei lapangan dan mengumpulkan data dari instansi terkait untuk menentukan jenis dan perkiraan jumlah polutan.
6. Menentukan titik sumber polutan yang masuk ke badan sungai.



Keterangan :

Tanda  $\longrightarrow$  adalah masukan polutan.

Gambar 3.3 Titik-titik Sumber Polutan yang masuk ke badan sungai

7. Pembuatan rancangan model
  - a. Nilai konsentrasi polutan di titik 1 (sta. pengamatan kualitas air yang pertama) digunakan sebagai titik awal pemodelan.
  - b. Hasil parameter polutan di titik 1 ditransfer ke titik 2 berdasar proses asimilasi ditambah dengan masukan polutan dari titik 1 ke 2.
8. Parameter polutan titik 2 diteruskan ke 3 dan seterusnya.
9. Pemodelan : dengan menghitung koefisien-koefisien untuk kondisi kurun waktu tahun 2005 dan 2006 kemudian disimulasikan hingga didapatkan data hasil pemodelan mendekati hasil pemantauan di lapangan.
10. Sebagai tolak ukur hasil perhitungan sesuaikan dengan data yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan oleh Perum Jasa Tirta.
11. Untuk mempercepat hasil perhitungan akan dilakukan cara *computating modeling*.

12. Simulasi menggunakan paket program QUAL-2E untuk parameter BOD, DO, N dan P dengan dasar teori dan asumsi yang telah ditetapkan serta tinjauan secara keseluruhan untuk mengambil kesimpulan.

### 3.3. Skematisasi Model

Skematisasi model simulasi kualitas air adalah mendeskripsikan model kualitas air dengan menggunakan peta atau gambar, garis, dan keterangan yang bertujuan untuk memudahkan pelaksanaan simulasi dan evaluasi hasil simulasi. Skema model memuat *reach*, *segment* (elemen komputasi), *junction*, *input*, *output* serta titik-titik pengukuran pada daerah pemodelan baik pengukuran kapasitas maupun kualitas air.

Dalam simulasi penelusuran BOD, DO, N dan P di Sungai Brantas bagian hulu dengan model simulasi QUAL-2E ini, daerah kajian adalah sepanjang  $\pm 22$  km. Daerah kajian ini dibagi menjadi beberapa *reach* dan element komputasi. Masing-masing elemen komputasi mempunyai panjang 2 km. Berikut ini beberapa istilah yang digunakan dalam simulasi QUAL-2E :

<i>Junction</i>	= pertemuan antara dua sungai/saluran dalam daerah sungai yang dimodelkan.
<i>Stretch</i>	= panjang sungai antara dua <i>junction</i> .
<i>Reach</i>	= sub unit dari panjang dalam beberapa <i>stretch</i> .
<i>Segment</i>	= sub unit dari <i>reach</i> . Disebut juga dengan elemen komputasi.

Sumber pencemaran yang masuk ke daerah model terdiri atas sumber pencemaran tersebar dan sumber pencemaran terpusat. Sumber pencemaran tersebar dalam skripsi ini meliputi limbah penduduk dan saluran-saluran pembuang kecil, sedang sumber pencemaran terpusat meliputi sumber pencemaran dari sungai dan kawasan industri. Kadar bahan pencemar pada tiap-tiap *reach* dihitung berdasarkan jumlah penduduk yang membuang limbahnya langsung ke sungai serta banyaknya air buangan dari areal industri. Pendekatan perhitungan dilakukan dengan menggunakan tabel-tabel estimasi jumlah aliran limbah dengan kontrol data debit di daerah model. Pada sumber pencemaran terpusat kuantitas maupun kualitas kadarnya dihitung berdasarkan hasil pengukuran.

Parameter yang akan disimulasikan dalam simulasi QUAL-2E ini adalah parameter yang mempengaruhi kualitas air sungai Brantas bagian hulu, dalam skripsi ini dibatasi oleh parameter BOD, DO, N dan P yang dipengaruhi kondisi hidrologi dan klimatologi serta karakteristik sungainya.



### 3.4. Pembagian Reach

Sungai Brantas hulu mempunyai bentuk alur yang relatif lurus dengan karakteristik penampang yang hampir sama. Sebelum melakukan simulasi, kita harus mengetahui kondisi atau kejadian-kejadian apa yang terjadi jika kita melakukan simulasi.

Sungai Brantas hulu dengan daerah model mulai dari stasiun pengamatan (Jembatan Pendem) sampai dengan stasiun pengamatan (Kedung Pedaringan) dibagi dalam 1 (satu) *reach*.

Manfaat pembagian *reach* pada sungai tersebut adalah :

1. Kita dapat mengetahui kondisi sungai pada suatu daerah pembagian karena adanya pengambilan atau pemasukan yang terjadi pada sungai tersebut.
2. Memungkinkan diperolehnya gambaran yang lebih terperinci akan kondisi sungai tersebut, karena simulasi kita dapat dianalisa sedekat mungkin sesuai dengan kondisi lapangan.
3. Memudahkan dalam monitoring, dalam hal ini pemanfaatan terhadap badan air sungai yang sesuai dengan peruntukannya.
4. Memudahkan dalam pelaksanaan simulasi yang kita inginkan.

Untuk keperluan simulasi ini, sungai Brantas bagian hulu yang akan dimodelkan adalah sepanjang  $\pm 22$  km dimulai dari Jembatan Pendem sampai dengan Kedung Pedaringan. Panjang elemen komputasi diambil 2000 m (2 km). Jadi sepanjang sungai utama terbagi dalam 11 buah elemen komputasi (*segment*).

Adapun penjelasan terperinci pembagian *reach* adalah sebagai berikut :

*Reach 1* : dari Jembatan Pendem sampai Kedung Pedaringan sepanjang  $\pm 22$  km. Pada *reach* ini aliran air sungai berasal dari Sungai Brantas dengan kondisi terdapat 4 (empat) titik pembebanan dari 7 (tujuh) industri besar, yaitu PT. Kebalen Timur, CV. Nasional pada elemen komputasi 4, CV. Usaha Loka, PT. Kasin dan Pem. Hewan Malang pada elemen komputasi 5, PT. Penamas pada elemen komputasi 6, sedangkan PG. Krevet Baru terdapat pada elemen komputasi 8.

Untuk lebih jelasnya, lihat gambar 3.4. dan gambar 3.5.







### 3.5. Sumber Data Input File

Data input file yang digunakan dalam analisa kualitas air dengan menggunakan QUAL-2E ini adalah :

#### 1. Data Kualitas Air

Data kualitas air yang digunakan adalah data kualitas air sungai Brantas bagian hulu mulai tahun 2005 dan tahun 2006. Data ini didapatkan dari hasil pengukuran oleh Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta pada stasiun-stasiun pengamat kualitas air sungai.

#### 2. Data Debit

Data debit yang digunakan adalah data debit bulanan tahun 2005 dan debit bulanan tahun 2006. Data didapat hasil pengukuran oleh Perum Jasa Tirta. Dalam studi ini, lokasi *headwater* berasal dari Stasiun Debit Brantas.

#### 3. Data Industri

Data industri yang diambil adalah industri-industri yang berada di sekitar lokasi penelitian yang dianggap berpengaruh terhadap kualitas air, berdasarkan hasil pengukuran Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta.

#### 4. Data Jumlah Penduduk (domestik)

Data jumlah penduduk yang diambil adalah yang penduduk yang berada pada *catchment-catchment* lokasi penelitian yang dianggap berpengaruh terhadap kualitas air sungai Brantas.

### 3.6. Implementasi QUAL-2E

Pada bagian ini akan dijelaskan cara menjalankan program QUAL-2E. Dalam input program QUAL-2E terdapat beberapa pilihan yang fungsinya tergantung pada kondisi yang ada dan berdasarkan permintaan pemodel sendiri.

Pilihan yang diambil pada pemodelan ini adalah sebagai berikut :

#### 1. *Incremental inflow* atau *Outflow*

*Incremental inflow* atau *outflow* adalah penambahan atau pengurangan debit pada badan air. Aliran ini terdistribusi merata pada setiap *reach*, misalnya infiltrasi, *basedflow*, buangan domestik dan lain-lain.

#### 2. *Point Load*

*Point Load* adalah merupakan *point source input* atau *point withdrawal* yang menggambarkan aliran terkonsentrasi pada satu titik, berlaku pada pengambilan atau

pembuangan industri, air baku untuk PDAM maupun anak sungai yang tidak diakumulasikan.

3. *Headwater Source Data*

Menggambarkan bagian hulu dari suatu sungai, sumber tersebut merupakan kondisi awal yang sangat penting karena kondisi tersebut digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

4. *Computational Element*

Merupakan penggambaran macam kejadian yang berada pada masing-masing *reach*.

5. Plot data DO, BOD, N dan P

Pemilihan *option* ini digunakan untuk mengetahui kondisi parameter polutan dari sungai yang ditinjau sebagai kontrol pada simulasi yang kita lakukan.

Data-data input yang diperlukan dalam menjalankan program QUAL-2E adalah :

1. Data tipe 1, digunakan untuk mengontrol program dan karakteristik dari sistem sungai.
2. Data tipe 2, menggambarkan pembagian jarak tiap *reach*.
3. Data tipe 3, menggambarkan identifikasi tiap-tiap elemen komputasi (sebagai *headwater*, *point load*, *dam*, *withdrawls*, atau kondisi standar/tanpa pembebanan apapun pada elemen tersebut).
4. Data tipe 4, mencantumkan pilihan parameter-parameter kualitas air yang akan disimulasikan (*temperature*, BOD, DO, *algae*, *nitrogen cycle*, dan sebagainya).
5. Data tipe 5, menggambarkan kondisi geografi dan meteorology sistem sungai.
6. Data tipe 6, merupakan masukan data BOD, DO, N dan P pada sistem sungai.
7. Data tipe 7, merupakan data koefisien laju reaksi BOD, DO, N dan P.
8. Data tipe 8, merupakan kondisi awal dari masing-masing *reach*.
9. Data tipe 9, merupakan kondisi aliran yang terdistribusi merata pada setiap *reach*.
10. Data tipe 10, merupakan data masukan dari *headwater*.
11. Data tipe 11, merupakan data untuk *point load*, yaitu masukan dari limbah terpusat (industri).

Tahap berikutnya adalah memasukkan data-data di atas ke dalam program QUAL-2E. Proses simulasi selanjutnya akan diterangkan pada bahasan berikut ini.

### 3.7. Simulasi Model QUAL-2E

Pada pemodelan ini, ada 2 (dua) simulasi model yang akan dilakukan, yaitu :

#### 1. Simulasi I

Program QUAL-2E hanya menyediakan 1 nilai untuk koefisien reaerasi dan deoksigenasi padahal untuk tiap-tiap *reach* memiliki nilai koefisien pemodelan yang berbeda. Untuk itu dilakukan cara coba-coba (*trial and error*) terhadap koefisien pemodelan ini sedemikian rupa sehingga *output* dari model mendekati hasil pemantauan di lapangan. Langkah ini disebut dengan kalibrasi model.

Data kualitas air yang digunakan adalah data bulanan 2005.

#### 2. Simulasi II

Proses yang dilakukan sama dengan Simulasi I, tetapi data kualitas air yang digunakan adalah data bulanan 2006.

### 3.8. Rancangan Hasil Studi

Pokok permasalahan dalam rancangan hasil studi ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2. Rancangan Hasil Studi

No.	Parameter	Tolak Ukur	Keterangan
1.	Penentuan <i>reach</i>	- Ditempatkan pada pemantauan kualitas air - Dalam setiap <i>reach</i> tidak lebih dari 20 elemen komputasi	Pembagian <i>reach</i> digunakan untuk mengontrol adanya pemasukan dan pengeluaran baik limbah domestik, limbah industri maupun debit air pada DPS Brantas.
2.	Koefisien Laju Reaksi	Data kualitas air hasil simulasi sama atau mendekati data kualitas air di lapangan	Koefisien laju reaksi dipengaruhi oleh slope (kemiringan), suhu, penampang melintang dan memanjang sungai serta karakteristik DPS Brantas lainnya.
3.	Konsentrasi Kualitas Air	Semakin jauh jarak aliran sungai maka nilai konsentrasi kualitas air semakin berkurang	Hubungan jarak alir sungai dengan konsentrasi kualitas air diperoleh dengan menggunakan paket model simulasi QUAL-2E





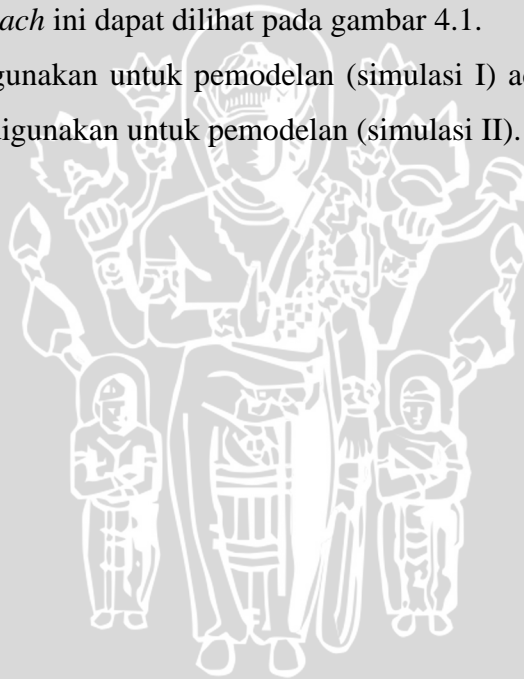
## BAB IV

### PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

DAS Brantas menurut Perum Jasa Tirta I, dibagi menjadi 3 bagian, yaitu DAS Brantas Bagian Hulu, DAS Brantas Bagian Tengah, dan DAS Brantas Bagian Hilir. Wilayah DAS Brantas Hulu Berawal dari Sumber Brantas dan berakhir di Bendungan Sutami. Sedangkan pada pembahasan ini, daerah pemodelan dimulai dari stasiun pengamatan kualitas air Jembatan Pendem sampai dengan Kedung Pedaringan yang merupakan DAS Brantas Bagian Hulu, dengan panjang  $\pm 22$  km, dibagi dalam 1 (satu) *reach* dengan panjang tiap elemen komputasi adalah 2 (dua) km, dan terdiri dalam 11 elemen komputasi.

Letak pembagian *reach* ini dapat dilihat pada gambar 4.1.

Data debit yang digunakan untuk pemodelan (simulasi I) adalah debit tahun 2005 dan data debit tahun 2006 digunakan untuk pemodelan (simulasi II).





#### 4.1. Perhitungan Hidrolika Penampang Melintang

Pengolahan data hidrolika yang pertama adalah perhitungan slope rerata sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data Elevasi Dasar Sungai Brantas Hulu

No	Nomor Potongan	Reach	Jarak (m)	Elevasi dasar	Elevasi hitung	Slope per potong	Slope rerata
1	P0		0	527.1670	523.7200		0.0083
2	P1		2000	509.5820	507.1200	0.0083	
3	P2		2000	480.6930	490.5200	0.0083	
4	P3	R	2000	475.3660	473.9200	0.0083	
5	P4	e	2000	458.8340	457.3200	0.0083	
6	P5	a	2000	441.8890	440.7200	0.0083	
7	P6	c	2000	425.7000	424.1200	0.0083	
8	P7	h	2000	408.3060	407.5200	0.0083	
9	P8		2000	383.4360	390.9200	0.0083	
10	P9	1	2000	375.9260	374.3200	0.0083	
11	P10		2000	359.0620	357.7200	0.0083	
12	P11		2000	342.0170	341.1200	0.0083	

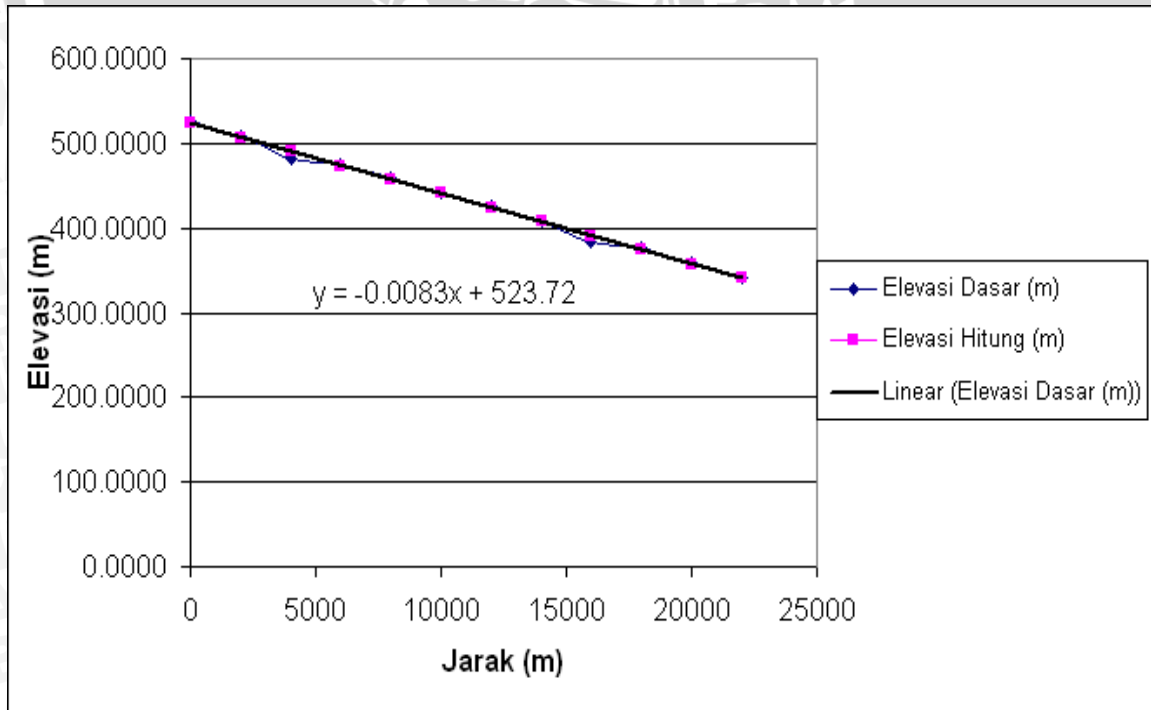
Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

Elevasi Dasar = Data

Elevasi Hitung = Reach dari persamaan  $y = -0.0083x + 523.72$

Slope Per potong =  $(\text{Elevasi Hitung } x-1 - \text{Elevasi Hitung } x) / \text{Jarak}$



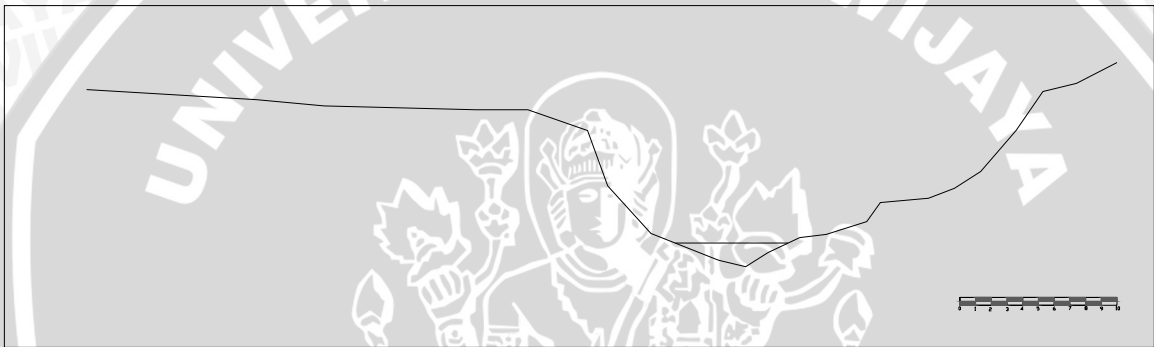
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Elevasi dengan Jarak

Pengolahan data hidrolika selanjutnya adalah perhitungan profil muka air penampang melintang sungai. Sebagai contoh perhitungan, berikut ini merupakan hasil perhitungan hidrolika potongan melintang sungai P0 dengan data sebagai berikut :

Diketahui :

Nilai kekasaran Manning (n)	= 0.04
Nilai kemiringan dasar tebing	= 0.0083
P (keliling basah) sungai	= 2.9407 m
A (luas basah) sungai	= 0.7041 m <sup>2</sup>

(Nilai A dan P merupakan nilai untuk ketinggian 0.5 m dari elevasi dasar sungai).



Gambar 4.4. Penampang Melintang Sungai P0

Nilai koefisien kekasaran Manning (n) didapat berdasarkan karakteristik Sungai Brantas Hulu yang cenderung bersih, bertebing dengan tanaman pengganggu dan batu – batuan sehingga nilai koefisiennya adalah 0.04 (Ven Te Chow,1991:101).

Data – data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan air (V) dan debit (Q) penampang melintang sungai untuk setiap ketinggian 0.5 m dari elevasi dasar sungai. Untuk lebih jelasnya, contoh perhitungan profil muka air potongan melintang sungai P0 ditabelkan berikut ini :

Tabel 4.3. Profil Muka Air Penampang Melintang Sungai P0

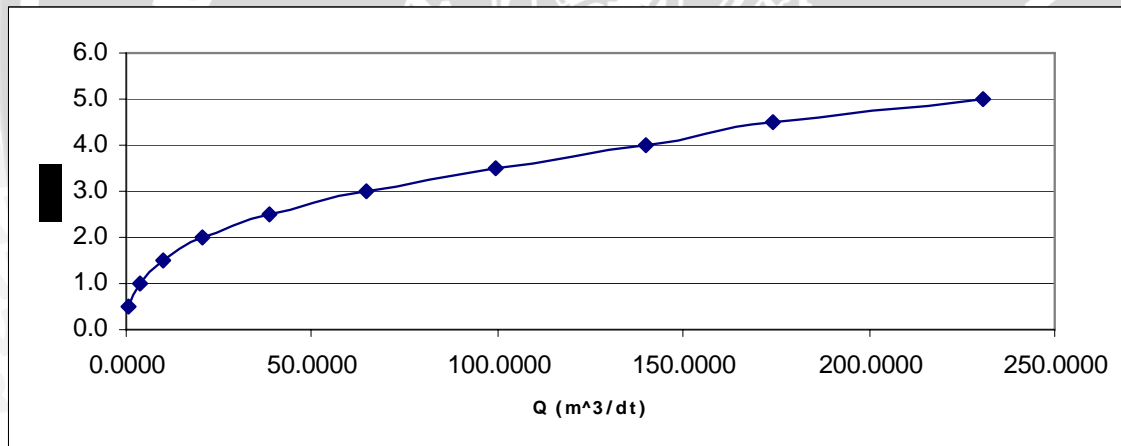
No	DMA	P (m)	A (m <sup>2</sup> )	R(m)	n	V(m/dt)	Q(m <sup>3</sup> /dt)
1	0.5	2.9407	0.7041	0.2394	0.04	0.8782	0.6184
2	1.0	5.2711	2.5837	0.4902	0.04	1.4159	3.6583
3	1.5	7.7954	5.5763	0.7153	0.04	1.8217	10.1585
4	2.0	11.1677	9.7884	0.8765	0.04	2.0860	20.4184
5	2.5	13.9970	15.7036	1.1219	0.04	2.4592	38.6178
6	3.0	16.0737	22.6456	1.4089	0.04	2.8624	64.8199
7	3.5	17.3661	30.1660	1.7371	0.04	3.2912	99.2827
8	4.0	18.6585	38.0939	2.0416	0.04	3.6655	139.6326
9	4.5	22.9305	47.2703	2.0615	0.04	3.6892	174.3883
10	5.0	24.9923	57.8289	2.3139	0.04	3.9845	230.4180

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

$$R = A/P \quad V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad Q = A \times V$$

Grafik lengkung debit dari profil muka air P0 ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5. Grafik Lengkung Debit P0

Dengan cara interpolasi dari nilai duga muka air dan penampang keliling basah tabel profil muka air penampang tersebut, dicari nilai H (tinggi muka air) dan nilai P (penampang keliling basah) sungai untuk nilai debit bulanan yang telah terukur. Perhitungan profil muka air, tinggi muka air, serta kecepatan air untuk tiap – tiap penampang melintang dapat dilihat pada Lampiran A. Dari hasil perhitungan tinggi muka air dan kecepatan air tiap – tiap penampang melintang ini, maka dapat dihitung nilai tinggi muka air dan kecepatan air rerata untuk tiap – tiap reach berikut ini :

## 4.2. Perhitungan Koefisien – koefisien Pemodelan

### 4.2.1. Perhitungan Koefisien Deoksigenasi ( $k_d$ )

Nilai  $k_d$  bervariasi terhadap suhu, dapat dicari melalui percobaan dengan mengamati variasi per waktu dari oksigen terlarut pada suatu seri contoh air yang sudah diinkubasi. Nilai  $k_d$  yang biasanya diukur pada suhu 20°C biasanya berkisar antara 0.05 – 0.20 per hari (Linsley, 1986:256).

Dari persamaan (2-29) dapat dihitung nilai  $k_d$  yang bervariasi terhadap suhu. Untuk Simulasi I, suhu rerata pada *reach* 1 didapatkan dari rata – rata suhu antara stasiun pengamatan kualitas air Jembatan Pendem – Kedung Pedaringan tahun 2005. Perlakuan ini juga berlaku untuk simulasi II, namun data suhu yang digunakan adalah tahun 2006.

Contoh perhitungan untuk lokasi pengambilan contoh kualitas air pada Jembatan Pendem – Kedung Pedaringan pada bulan Januari dengan suhu rata – rata 24.8500°C didapatkan hasil sebagai berikut :

$$k_d = k_{d20} \times 1.047^{(T - 20)}$$

$$k_{24.8500} = 0.2 \times 1.047^{(24.8500 - 20)}$$

$$= 0.2499 \text{ hari}^{-1}$$

### 4.2.2. Perhitungan Koefisien Reaerasi ( $k_a$ )

Koefisien reaerasi (penyerapan kembali oksigen) dapat ditentukan dengan mengetahui cirri – cirri aliran pada suatu saluran atau sungai. Dengan memakai salah satu persamaan yang banyak dikemukakan oleh para ahli, koefisien tersebut dapat dihitung secara empiris. Salah satu persamaan yang dipakai adalah persamaan (2-30) yang dikembangkan oleh O'Connor dan Dobbins (1965), sebagai contoh untuk lokasi pengambilan contoh kualitas air pada stasiun Jembatan Pendem – Kedung pedaringan pada bulan Januari denhan  $H_{\text{rerata}} = 1.4032 \text{ m}$ ,  $V = 1.7236 \text{ m/dt}$  dan  $T_{\text{rerata}} = 24.85 \text{ }^\circ\text{C}$ , adalah sebagai berikut :

$$k_a = 127 \frac{(MV)^{\frac{1}{2}}}{H_{\text{rerata}}^{\frac{3}{2}}}$$

$$M = 0.00192 \times 1.04^{(T-20)}$$

$$M = 0.00192 \times 1.04^{(24.85-20)}$$

$$M = 0.00232 \text{ m}^2/\text{dt}$$

$$k_a = 127 \frac{(0.00232 \times 1.7236)^{\frac{1}{2}}}{1.4032^{\frac{3}{2}}}$$

$$k_a = 4.8341 \text{ hari}^{-1}$$

Hasil perhitungan koefisien reaerasi dan koefisien deoksigenasi pada stasiun dan bulan – bulan yang akan digunakan untuk pemodelan ini, ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.39. Perhitungan Koefisien Deoksigenasi ( $k_d$ ) dan Koefisien Reaerasi ( $k_a$ ) Simulasi I

No.	Bulan	H rerata ( m )	Vrerata (m <sup>2</sup> /dt)	Suhurerata °C	M (m <sup>2</sup> /dt)	ka (hari <sup>-1</sup> )	kd (hari <sup>-1</sup> )
1	Januari	1.4032	1.7236	24.85	0.0023	4.8341	0.2499
2	Februari	0.9979	1.3882	24.50	0.0023	7.1838	0.2459
3	Maret	1.0626	1.4384	24.75	0.0023	6.6876	0.2488
4	April	0.9310	1.3340	24.60	0.0023	7.8308	0.2470
5	Mei	0.8640	1.2690	24.65	0.0023	8.5508	0.2476
6	Juni	0.8877	1.2909	24.65	0.0023	8.2815	0.2476
7	Juli	0.7237	1.1254	24.70	0.0023	10.5151	0.2482
8	Agustus	0.8188	1.2227	24.90	0.0023	9.1433	0.2505
9	September	0.7295	1.1321	24.90	0.0023	10.4614	0.2505
10	Oktober	0.6881	1.0874	24.90	0.0023	11.1916	0.2505
11	November	0.8112	1.2158	26.10	0.0024	9.4652	0.2647
12	Desember	0.8306	1.2354	23.95	0.0022	8.8288	0.2398

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.39. Perhitungan Koefisien Deoksigenasi ( $k_d$ ) dan Koefisien Reaerasi ( $k_a$ ) Simulasi II

No.	Bulan	H rerata ( m )	V rerata(m <sup>2</sup> /dt)	Suhu rerataC	M (m <sup>2</sup> /dt)	ka (/hari)	kd (/hari)
1	Januari	1,2993	1,6172	24,35	0,0023	5,2038	0,2442
2	Februari	1,3648	1,6902	25,10	0,0023	5,0146	0,2528
3	Maret	1,2648	1,6158	24,05	0,0023	5,3844	0,2409
4	April	1,0552	1,4283	26,20	0,0024	6,9288	0,2659
5	Mei	1,0413	1,4234	26,00	0,0024	7,0286	0,2635
6	Juni	1,0487	1,4280	24,40	0,0023	6,7501	0,2448
7	Juli	0,9028	1,3066	24,85	0,0023	8,1556	0,2499
8	Agustus	0,8123	1,2146	24,40	0,0023	9,1319	0,2448
9	September	0,6614	1,0667	24,20	0,0023	11,6012	0,2426
10	Oktober	0,6570	1,0553	26,05	0,0024	12,0871	0,2641
11	November	0,6659	1,0649	25,25	0,0024	11,7143	0,2545
12	Desember	1,3119	1,6448	26,45	0,0025	5,3900	0,2690

Sumber : Hasil Perhitungan

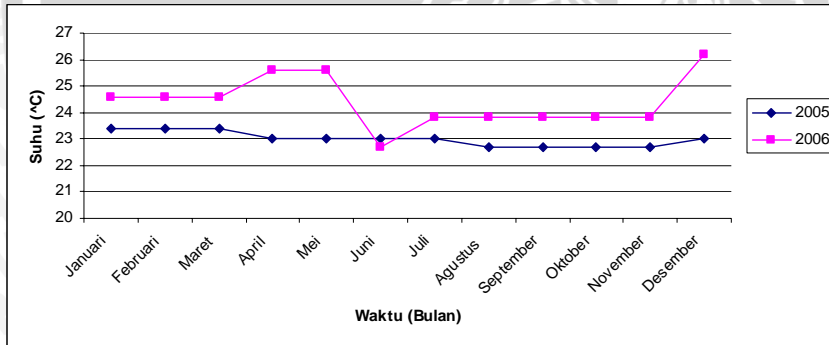
### 4.3. Analisa Kualitas Air

Data kualitas air stasiun pengamatan kualitas air Jembatan Pendem – Kedung Pedaringan, adalah sebagai berikut :

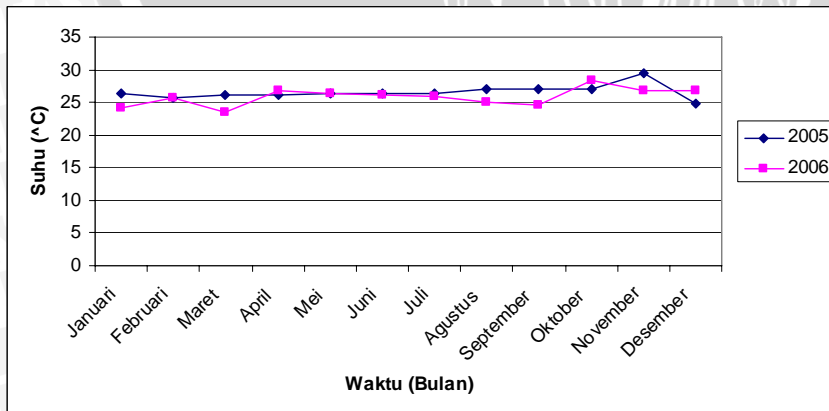
Tabel 4.40. Data Suhu di Stasiun Pengamatan Kualitas Air Tahun 2005 - 2006

No	Bulan	Jembatan Pendem		Kedung Pedaringan		Rerata Jemb. Pendem sampai Kedung Pedaringan	
		2005	2006	2005	2006	2005	2006
1	Januari	23.40	24.60	26.30	24.10	24.85	24.35
2	Februari	23.40	24.60	25.60	25.60	24.50	25.10
3	Maret	23.40	24.60	26.10	23.50	24.75	24.05
4	April	23.00	25.60	26.20	26.80	24.60	26.20
5	Mei	23.00	25.60	26.30	26.40	24.65	26.00
6	Juni	23.00	22.70	26.30	26.10	24.65	24.40
7	Juli	23.00	23.80	26.40	25.90	24.70	24.85
8	Agustus	22.70	23.80	27.10	25.00	24.90	24.40
9	September	22.70	23.80	27.10	24.60	24.90	24.20
10	Oktober	22.70	23.80	27.10	28.30	24.90	26.05
11	November	22.70	23.80	29.50	26.70	26.10	25.25
12	Desember	23.00	26.20	24.90	26.70	23.95	26.45

Sumber : Perum Jasa Tirta



Gambar 4.17. Grafik Fluktuasi Suhu Stasiun Jembatan Pendem Tahun 2005 - 2006



Gambar 4.18. Grafik Fluktuasi Suhu Stasiun Kedung Pedaringan Tahun 2005 - 2006



#### 4.3.1. Sumber Pencemaran Terpusat

Pada pembahasan model ini, terdapat 4 (empat) masukan daerah industri yang merupakan sumber pencemaran terpusat. Daerah industri tersebut adalah :

1. Daerah Industri 1

Daerah industri ini terdapat pada *reach* 1, elemen komputasi ke-4, dan terdiri dari 2 (dua) buah industri besar, yaitu : PT. Kebalen Timur, CV. Nasional.

2. Daerah Industri 2

Daerah industri ini terdapat pada *reach* 1, elemen komputasi ke-5, dan terdiri dari 3 (tiga) buah industri besar, yaitu : CV. Usaha Loka, PT. Kasin, Pem. Hewan Malang.

3. Daerah Industri 3

Daerah industri ini terdapat pada *reach* 1, elemen komputasi ke-6, dan terdiri dari 1 (satu) buah industri besar, yaitu : PT. Penamas.

4. Daerah Industri 4

Daerah industri ini terdapat pada *reach* 1, elemen komputasi ke-8, dan terdiri dari 1 (satu) buah industri besar, yaitu : PG. Krebet Baru.

Perhitungan konsentrasi BOD untuk sumber pencemaran terpusat ini adalah sebagai berikut :

1. Sumber Pencemaran : industri besar.

2. Konsentrasi aliran dari limbah sumber terpusat dengan menggunakan rumus :

$$CC = \frac{(C_1 \times Q_1) + (C_2 \times Q_2) + \dots + (C_n \times Q_n)}{(Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)}$$

Dengan :

CC = konsentrasi aliran limbah (mg/l)

C<sub>1</sub> = konsentrasi limbah dari industri 1 (mg/l)

C<sub>2</sub> = konsentrasi limbah dari industri 2 (mg/l)

C<sub>n</sub> = konsentrasi limbah dari industri n (mg/l)

Q<sub>1</sub> = debit limbah dari industri 1 (m<sup>3</sup>/dt)

Q<sub>2</sub> = debit limbah dari industri 2 (m<sup>3</sup>/dt)

Q<sub>n</sub> = debit limbah dari industri n (m<sup>3</sup>/dt)

Sebagai contoh industri pada bulan Januari simulasi I, pada elemen komputasi 4 terdapat 2 (dua) industri, yaitu PT. Kebalen Timur dan CV. Nasional.

Diketahui :

PT. Kebalen Timur

Suhu (°C) : 25.80

BOD (mg/l) : 53.56

Debit (m<sup>3</sup>/dt) : 0.6842

CV. Nasional

Suhu (°C) : 33.80

BOD (mg/l) : 28.73

Debit (m<sup>3</sup>/dt) : 0.4612

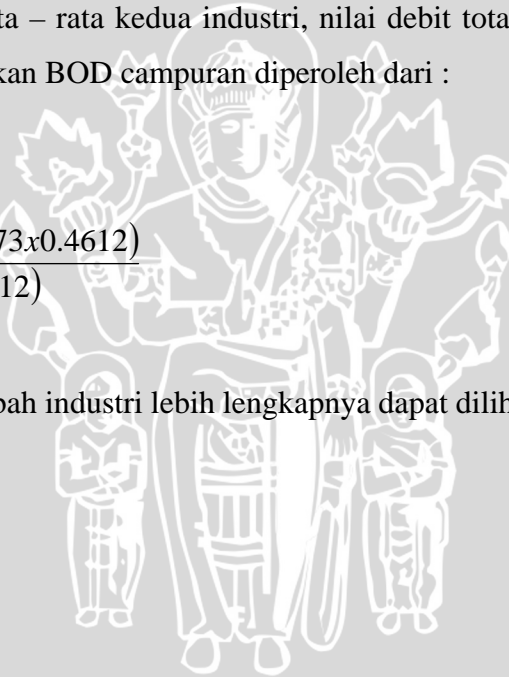
Suhu didapat dari rata – rata kedua industri, nilai debit total diperoleh dari jumlah debit kedua industri, sedangkan BOD campuran diperoleh dari :

$$CC = \frac{(C_1 \times Q_1) + (C_2 \times Q_2)}{(Q_1 + Q_2)}$$

$$CC = \frac{(53.56 \times 0.6842) + (28.73 \times 0.4612)}{(0.6842 + 0.4612)}$$

$$CC = 43.56 \text{ mg/l}$$

Perhitungan konsentrasi limbah industri lebih lengkapnya dapat dilihat berikut ini :



#### 4.3.2. Sumber Pencemaran Tersebar

1. Sumber pencemaran berasal dari domestik (penduduk).
2. Pendekatan besar rata – rata aliran limbah dari daerah pemukiman adalah 70 galon/orang/hari = 264.9780 ltr/orang/hari (tabel 2.1. halaman 6).
3. Pendekatan besar beban limbah domestik parameter BOD adalah sebesar :
  - a. Urban = 28.7 (gram/orang/hari)
  - b. Semi urban = 15 (gram/orang/hari)
  - c. Rural = 6.25 (gram/orang/hari)
4. Penyebaran penduduk pada daerah model diasumsi tersebar merata pada tiap *reach*.
5. Contoh perhitungan konsentrasi BOD dari sumber pencemaran tersebar untuk simulasi I adalah :

Diketahui :

Jumlah penduduk *reach* 1 elemen komputasi 1, Desa Pendem (daerah semi urban)  
= 4176 orang

Beban BOD per orang = 15 gram/orang/hari  
= 0.015 kg/orang/hari

Debit Limbah (Q) = Jumlah penduduk x debit limbah per orang  
= 4176 x 264.9780 lt/hari  
=  $\frac{(4176 \times 264.9780)}{(1000 \times 86400)} \text{ m}^3/\text{dt}$   
= 0.0128 m<sup>3</sup>/dt

Beban Limbah (L) = Jumlah penduduk x Beban BOD per orang  
= 4176 x 0.015  
= 62.6400 kg/hari

Konsentrasi BOD =  $\frac{L}{86.4 \times Q}$   
=  $\frac{62.6400}{86.4 \times 0.0128}$   
= 56.6085 mg/lt

Perhitungan konsentrasi limbah penduduk lebih lengkapnya dapat dilihat berikut ini :

#### 4.4. Hasil Simulasi QUAL-2E

Pada pembahasan hasil simulasi QUAL-2E ini akan diwakilkan pada bulan Januari 2005 dan bulan Oktober 2005 untuk simulasi I, sedangkan bulan Februari 2006 dan bulan Oktober 2006 untuk simulasi II. Pada bulan Januari 2005 dan Februari 2006, debit *headwater* dari sungai utama memiliki nilai yang paling besar dibanding pada bulan – bulan yang lain dan dianggap mewakili musim penghujan. Sedangkan bulan Oktober 2006 dan bulan Oktober 2006, merupakan bulan dengan debit *headwater* dari sungai utama yang terkecil dibanding bulan – bulan lainnya dan dianggap mewakili musim kemarau.

Simulasi model yang akan dilakukan untuk bulan tersebut adalah sebanyak 2 (dua) simulasi, meliputi :

1. Simulasi I

Pemodelan dengan cara coba – coba terhadap nilai koefisien pemodelan yang dihasilkan dari tiap *reach* sedemikian rupa sehingga *output* model mendekati hasil pemantauan lapangan, dengan menggunakan data tahun 2005.

2. Simulasi II

Pemodelan dengan cara coba – coba terhadap nilai koefisien pemodelan yang dihasilkan dari tiap *reach* sedemikian rupa sehingga *output* model mendekati hasil pemantauan lapangan, dengan menggunakan data tahun 2006.

Hasil Simulasi ini dapat dilihat pada tabel 4.74. sampai dengan tabel 4.81..

#### 4.5. Analisa Simulasi Model Kualitas Air

##### 4.5.1. Simulasi I dan Simulasi II ( Pemodelan dengan Kondisi Pembebanan Total )

#### 4.6. Kelebihan dan Kelemahan Paket Program QUAL-2E

QUAL-2E, seperti halnya dengan model – model yang ada, mempunyai beberapa kelebihan dan kelemahan, diantaranya adalah :

1. Program QUAL2-E ini mampu memberikan gambaran yang cukup jelas tentang kecenderungan dan kondisi rata – rata suatu paramater kualitas air (dalam kajian ini parameter BOD dan DO), sehingga minimal mampu memberikan informasi yang cukup pada penggunaan praktis.
2. Dapat memberikan 15 konstituen dalam berbagai kombinasi sesuai permintaan pemodel, serta dapat digunakan untuk berbagai modifikasi sistem sungai dengan anggapan *one dimentional system*.
3. Cukup mudah untuk dioperasikan namun agar didapatkan hasil yang benar dan akurat perlu pemahaman yang lebih mendalam serta ketelitian dalam pengoperasian.
4. Dapat disimulasikan secara langsung pada daerah yang akan dikaji tanpa harus mensimulasikan debit *headwater* dari daerah hulu terlebih dahulu (tiap sub model dapat berdiri sendiri).
5. Badan aliran atau sungai dapat dibuat menjadi elemen – elemen memanjang untuk memudahkan dalam pemecahan masalah yang dapat dipertanggungjawabkan.
6. Model simulasi QUAL2-E peka terhadap masukan data untuk *headwater* yang terdiri dari data konsentrasi DO dan BOD sehingga diperlukan kecermatan pada saat memasukkan data *headwater* agar didapatkan hasil simulasi yang akurat.
7. Hanya dapat membaca maksimal 2 angka desimal dibelakang koma, misalnya jika konsentrasi bernilai 0.001 mg/l, maka dianggap = 0.
8. Angka – angka yang akan disimulasikan dalam model QUAL2-E ini (terutama untuk angka koefisien pemodelan) harus dibulatkan dua angka desimal dibelakang koma, apabila tidak maka hasil *running* tidak dapat dikeluarkan.
9. Nilai Konsentrasi BOD hanya dibatasi sampai 1000 mg/l.

## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *output* simulasi dan pembahasan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil simulasi QUAL-2E, besarnya konsentrasi BOD terlihat jelas pada bulan yang mewakili musim kemarau (Oktober 2005 dan Oktober 2006) yang memiliki debit headwater paling kecil, sedang yang mewakili musim penghujan (Januari 2005 dan Februari 2006) cenderung lebih kecil dibanding musim kemarau. Peningkatan konsentrasi BOD dan penurunan konsentrasi DO tampak jelas terjadi pada elemen pembuangan gabungan industri besar. Nilai konsentrasi BOD yang paling besar untuk bulan Januari 2005, terletak pada elemen komputasi 5 sebesar 31.37 mg/l dengan DO 6.20 mg/l, untuk bulan Oktober 2005 terdapat pada elemen komputasi 5 sebesar 43.56 mg/l dengan DO 5.33 mg/l, untuk bulan Februari 2006 terdapat pada elemen komputasi 5 sebesar 25.71 mg/l dengan DO 4.98 mg/l, dan untuk bulan Oktober 2006 terdapat pada elemen komputasi 4 sebesar 117.82 mg/l dengan DO 5.52 mg/l. Jadi bisa terlihat hubungan terbalik antara BOD dan DO. Untuk konsentrasi N dan P, pada bulan yang mewakili musim kemarau atau penghujan, disetiap elemen komputasi nilainya bervariasi, tetapi masih dalam tahap aman. Adanya Dam Sengkaling dan Dam Kadal Pang bisa mempengaruhi kenaikan konsentrasi DO karena dengan adanya bangunan air yang melintang sungai menyebabkan terjadinya turbulensi dan mempercepat proses reaerasi. Konsentrasi BOD dapat turun diikuti dengan kenaikan konsentrasi DO apabila pada sungai terjadi proses pengenceran dengan debit yang cukup, dalam kajian ini pengenceran berasal dari anak Kali Amprong, Kali Meri dan Kali Manten.
2. Kemampuan Sungai Brantas Hulu (Jembatan Pendem – Kedung Pedaringan) dalam menerima polutan, secara garis besar masih dalam tahap aman, dapat dilihat dari konsentrasi DO, BOD, N dan P pada setiap bulan dapat terpenuhi (evaluasi Perum Jasa Tirta I masuk dalam Golongan Kelas III) berdasarkan klasifikasi PP No. 82 tahun 2001. Konsentrasi BOD yang tinggi terlihat pada elemen komputasi tertentu

khususnya daerah industri, yang melebihi standar baku mutu air buangan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 untuk tipe sungai Golongan Kelas III, standar minimum konsentrasi DO  $> 3$  mg/l, standar maksimum BOD  $< 6$  mg/l, standar maksimum N  $< 0.06$  mg/l, dan standar maksimum P  $< 1$  mg/l.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil prediksi yang telah dilakukan, untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik penyusun memberikan saran :

1. Agar simulasi berjalan lancar dan benar, dibutuhkan data yang lengkap serta pemahaman tentang konsep dasar QUAL-2E.
2. Untuk mengurangi konsentrasi BOD yang terdapat pada elemen industri, sebaiknya IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) setiap industri diletakkan di lokasi dimana petugas dapat langsung mengadakan pengukuran tanpa harus memberi tahu pemilik, karena biasanya kenakalan berasal dari manusia itu sendiri, diambil contoh ketika suatu industri mengadakan maintenance (pemeliharaan) IPAL, seharusnya semua kegiatan terhenti, karena industri tidak mau rugi, proses kerja tetap berjalan dan hasil buangan langsung dibuang ke sungai tanpa diolah terlebih dahulu.
3. Agar sungai Brantas Hulu tetap mampu menerima polutan, sebaiknya stasiun pengamatan kualitas air ditambah dan dilakukan pengambilan yang frekuensinya lebih banyak, diharapkan ketika tidak memenuhi standar baku mutu air buangan, sehingga dapat dengan cepat mencari sumber pencemar.



































































































































































## DAFTAR PUSTAKA

- Brown, Lienfield C and Thomas O. Barnwell, Jr. 1987. *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL-2E, Documentation and User Manual*. Athens : EPA
- Sunaryo, T.M., Walujo S, T, dan Harnanto, A. 2005. *Pengelolaan Sumberdaya Air* . Malang : Bayumedia.
- Pudjianto, Edi Wahyudi. 1987. *Analisa Kualitas Air*. Surabaya : Akademi Tehnologi Sanitasi Surabaya.
- Chow, Ven Te. 1989. *Hidroloka Saliran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Jakarta : Erlangga.
- Clark, John W.,Warran Viesman and Mark Hammer. 1977. *Water Supply and Pollution Control*. New York : Harper and Row Publisher, Inc.
- Clark, John W.,Warran Viesman and Mark Hammer. 1986. *Water Supply and Pollution Control Third Edition*. New York : Harper and Row Publisher, Inc.
- Linsley, R. and Franzini. 1986. *Teknik Sumber Daya Air Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.
- Peavy, Howard S. , Rowe, Donald R, and G. Tchobanoglous. 1986. *Environmental Engineering*. Singapore : Mc Graw Hill Book Company.
- Sugiharto, 1987. *Dasar – dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Soediby, 2003. *Teknik Bendungan*. Jakarta : Paradnya Paramita.
- Anggrahini, 1997. *Hidroloka Saluran Terbuka*. Surabaya : Citra Media.
- Metcalf and Eddy. 1979. *Wastewater EGINEERING, Treatment Disposal Reuse Second Edition*. New York : Mc. Graw Hill Book Company.
- Steel, Ernest W. , and McGhee Terence J. 1960. *Water Supply and Sewerage Fourth Edition*. Tokyo : Mc Graw Hill Kogakusha, LTD.
- Steel, Ernest W. , and McGhee Terence J. 1965. *Water Supply and Sewerage Fifth Edition*. Tokyo : Mc Graw Hill Kogakusha, LTD.