

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
GLOSARI	xxvi
Abstrak	xxviii
Abstract	xxx
Ringkasan	xxxii
Summary	xxxviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	9
C. Orisinalitas	10
D. Tujuan Penelitian	11
D.1. Tujuan Umum	11
D.2. Tujuan Khusus	14
E. Manfaat Penelitian	14
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	15
A. Limbah Cair Domestik	15
B. Arti Pentingnya Air	18
C. Tolok Ukur Pencemaran Air	23
C.1. Parameter Fisik Air	23
C.2. Parameter Kimia	26
C.3. Parameter Biologi	32
D. Pengendalian Pencemaran Air	36
D.1. Pengolahan secara fisik	37
D.2. Pengolahan secara kimiawi	37

D.3. Pengolahan secara biologi	37
E. Kolam Stabilisasi Limbah	40
E.1. Definisi Kolam Stabilisasi	40
E.2. Fungsi dan Manfaat Kolam Stabilisasi Limbah	41
E.3. Proses Pembuatan Kolam Stabilisasi Limbah	42
E.4 Tipe-tipe Kolam Stabilisasi Limbah	43
F. Perkembangan Kolam Stabilisasi Limbah di Indonesia	52
G. Prinsip Kerja Kolam Stabilisasi	53
H. Permodelan (Modelling)	58
H.1. Diskripsi Model	58
H.2. Penyelesaian Model	81
I. Variabel dan Parameter	97
J. Proses	97
K. Validasi Model	98
BAB III. KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS	99
A. Kerangka Teori	99
B. Kerangka Konsep	100
C. Hipotesis	104
C.1. Hipotesis Mayor	104
C.2. Hipotesis Minor	104
BAB IV. METODE PENELITIAN	105
A. Tempat dan Waktu Penelitian	105
B. Desain Penelitian	105
C. Sampel	106
D. Variabel Penelitian	107
E. Materi Penelitian	107
F. Teknik Pengumpulan Data	107
F.1. Data Primer dan Data Sekunder	107
F.2. Bahan dan Cara	109
G. Alur Penelitian	115
H. Pengolahan dan Analisis Data	115
H.1. Pengolahan Data	115
H.2. Analisis Data	115
K. Simulasi	121

BAB V.	HASIL PENELITIAN DAN BAHASAN	123
	A. Hasil Penelitian	123
	A.1. Kondisi Lingkungan Daerah Peneltian	123
	A.2. Upaya Pengelolaan Limbah Cair Domestik	126
	A.3. Pengolahan Limbah Cair pada IPAL Sewon	133
	A.4. Parameter Fisik Kualitas Air Limbah	139
	A.5. Parameter Biologi	148
	A.6. Permodelan Lingkungan	156
	A.6.1. Model Kinetika Proses Biokimia pada Kolam	156
	A.6.2. Model Steady State	160
	A.6.3. Model Dinamik	180
	A.6.4. Model Difusi Satu-Dimensi Polutan Organik	194
	A.6.5. Sensitivitas Model	198
	A.7. Pengendalian Kualitas Air Kolam Stabilisasi Fakultatif	199
	A.7.1. Evaluasi kinerja IPAL dengan Model Steady State	201
	A.7.2. Evaluasi kinerja IPAL dengan Model Dinamik	203
	A.8. Pembuktian Hipotesis	206
	B. Bahasan	209
	B.1. Pencemaran Air Limbah Domestik	209
	B.2. Proses Pengolahan Air Limbah	212
	B.3. Pengaruh Parameter Fisik Kualitas Air Limbah	213
	B.4. Pengaruh Parameter Biologi	218
	B.5. Permodelan pada Proses Pengolahan Air Limbah di Kolam Stabilisasi Fakultatif	222
	B.6. Perbandingan Model Dinamik pada Proses Pengolahan Air Limbah Di IPAL Bojongsoang	229
	B.7. Model Distribusi 1-Dimensi Polutan Bahan Organik pada Kolam Stabilisasi	233
	B.8. Pengendalian Kualitas Air Limbah dan Evaluasi Kinerja Kolam Stabilisasi	234
	B.9. Keterbatasan Penelitian	236
BAB VI.	KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	237
	A. Kesimpulan	237
	B. Rekomendasi	237

B.1. Rekomendasi bagi Pemerintah	237
B.3. Rekomendasi bagi Masyarakat	238
DAFTAR PUSTAKA	239
LAMPIRAN	247
	-
	298
BIODATA	299

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Matriks Orisinalitas Karakteristik Temuan Disertasi	12
Tabel 2. Hubungan Beban Limbah Cair antara BOD ₅ dan COD	17
Tabel 3. Karakteristik Limbah Cair Domestik	18
Tabel 4. Kontribusi Rata-rata BOD per orang per hari	19
Tabel 5. Baku Mutu Air Limbah Domestik	20
Tabel 6. Baku Mutu Air Limbah Golongan II	21
Table 7. Wajib Retribusi Rumah Tangga	22
Tabel 8. Wajib Retribusi Sosial	23
Tabel 9. Wajib Retribusi Komersial	23
Tabel 10. Wajib Retribusi Hotel atau Penginapan khusus untuk Hotel dan Pengusaha	24
Tabel 11. Perbandingan Rata-rata Angka BOD ₅ /COD untuk beberapa Jenis Air ...	30
Tabel 12. Sistem Pengolahan Air Limbah di beberapa kota di Indonesia	53
Tabel 13. Tipe Pegolahan Air Limbah	54
Tabel 14. Laju Persamaan Reaksi	61
Tabel 15. Matriks Definisi Operasional Variabel	108
Tabel 16. Daftar Wajib Retribusi Per Kelurahan di Kota Yogyakarta Bulan Desember 2011	128
Tabel 17. Hasil Perhitungan Beban Air Limbah di IPAL Sewon	129
Tabel 18. Angka Laju Perombakan Bahan Organik	136
Tabel 19. Hasil Pengukuran Nitrat, Nitrit dan Amoniak pada Inlet dan Outlet	146
Tabel 20. Hasil Pengukuran Fosfat pada Inlet dan Outlet	147
Tabel 21. Hasil Pengukuran Parameter Bakteri	149
Tabel 22. Hasil pengukuran Phytoplankton di Inlet	152
Tabel 23. Hasil pengukuran Phytoplankton di Outlet	154
Tabel 24. Hasil pengukuran Zooplankton di Inlet	155
Tabel 25. Hasil pengukuran Zooplankton di Outlet	155
Tabel 26. Nilai Awal untuk Sistem Persamaan Diferensial Non Linier	163
Tabel 27. Hasil pengukuran terhadap variabel model pada inlet IPAL Sewon	175
Tabel 28. Hasil pengukuran terhadap variabel model pada outlet IPAL Sewon	176
Tabel 29. Konstanta Fisika dan Kondisi Lingkungan pada IPAL Sewon	179
Tabel 30. Nilai Awal untuk Sistem Persamaan	181

Tabel 31.	Data Observasi untuk Validasi Model	181
Tabel 32.	Data Observasi dan Data Hitung Polutan Organik (BOD)	195
Tabel 33.	Nilai Parameter yang Sensitif terhadap Model	196
Tabel 34.	Kualitas Air Limbah Inlet dan Outlet IPAL Sewon	200
Tabel 35.	Angka Laju Degradasi Bahan Organik pada Kolam Fakultatif Bojongsoang Bandung	212
Tabel 36.	Kualitas Air Limbah pada inlet IPAL Bojongsoang Bandung	230
Tabel 37.	Kualitas Air Limbah Outlet IPAL Bojongsoang Bandung	230

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Komposisi Limbah Domestik	17
Gambar 2. Grafik Distribusi CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} dalam Sistem Air	27
Gambar 3. Grafik Hubungan antara Nilai K dengan Prosentase Sisa BOD	29
Gambar 4. Phase Pertumbuhan Bakteri	34
Gambar 5. Penampang melintang Kolam Stabilisasi Limbah	43
Gambar 6. Proses Perombakan Limbah Anaerob pada Kolam Fakultatif	48
Gambar 7. Kolam Anaerobik	50
Gambar 8. Kolam Fakultatif	50
Gambar 9. Kolam Maturasi (Aerobik)	50
Gambar 10. Laguna Fakultatif	51
Gambar 11. Laguna Aerobik	51
Gambar 12. Skema Pengolahan Air Limbah di IPAL Sewon	55
Gambar 13. Aliran Air Limbah masuk dan keluar kolam	62
Gambar 14. Grafik untuk menentukan nilai laju perombakan bahan	64
Gambar 15. Pengaruh enzim terhadap kecepatan reaksi	64
Gambar 16. Kurva komponen-komponen dari reaksi sederhana Michaelis Menten, dengan pengecualian fase transient dari reaksi dimana muncul sebelum $(S) \gg (E)_T$ (diantara arsiran kotak tersebut)	67
Gambar 17. Garis Jenuh	68
Gambar 18. Grafik kecepatan dari (v_0) dari suatu reaksi Michaelis Menten yang Sederhana versus konsentrasi substrat (S)	69
Gambar 19. Penyelesaian persamaan differensial parsial	85
Gambar 20. Jaringan titik hitungan dalam bidang $x-y$	86
Gambar 21. Skema eksplisit	87
Gambar 22. Langkah-langkah hitungan dengan skema eksplisit	88

Gambar 23.	Stabilitas Numerik	88
Gambar 24.	Skema Implisit	89
Gambar 25.	Skema Crank Nicholson	89
Gambar 26.	Jaringan titik hitungan dalam bidang $x-t$	90
Gambar 27.	Mekanisme transportasi materi yang terjadi dalam volume kontrol pada suatu kolam	94
Gambar 28.	Kuantitas adveksi maupun dispersi yang keluar dan masuk melalui penampang volume kontrol	96
Gambar 29.	Diagram Alur Kerangka Teoritis	101
Gambar 30.	Diagram Alur Kerangka Konsep	103
Gambar 31.	Tata Letak Kolam Stabilisasi dan Titik Sampling	106
Gambar 32.	Diagram Alur Langkah-langkah Penelitian	116
Gambar 33.	Langkah-langkah dalam Penyelesaian Model	120
Gambar 34.	Estimasi Parameter Non Linier	121
Gambar 35.	Daerah Pelayanan Air Kotor di Kota Yogyakarta	125
Gambar 36.	Debit Air Limbah Harian yang Masuk IPAL Sewon	131
Gambar 37.	Debit Air Limbah Rata-rata, Minimum dan Maksimum pada IPAL Sewon	132
Gambar 38.	Tata Letak IPAL Sewon	135
Gambar 39a.	Konsentrasi BOD Harian pada Inlet IPAL Sewon	137
Gambar 39b.	Konsentrasi BOD Harian pada outlet IPAL Sewon	137
Gambar 40.	Angka Laju Penurunan BOD (k)	138
Gambar 41a.	Temperatur Air Limbah pada Inlet IPAL Sewon	139
Gambar 41b.	Temperatur Air Limbah pada Outlet IPAL Sewon	140
Gambar 42a.	Kondisi pH pada Inlet IPAL Sewon	141
Gambar 42b.	Kondisi pH pada Outlet IPAL Sewon	141
Gambar 43a.	Kondisi Harian DO pada Inlet IPAL Sewon	142
Gambar 43b.	Kondisi Harian DO pada Outlet IPAL Sewon	142

Gambar 44a.	Grafik Kandungan BOD pada Inlet IPAL Sewon	143
Gambar 44b.	Grafik Kandungan BOD pada Outlet IPAL Sewon	144
Gambar 45a.	Kandungan COD di Inlet IPAL Sewon	144
Gambar 45b.	Kandungan COD di Outlet IPAL Sewon	145
Gambar 46a.	Pengukuran konsentrasi Nitrat di inlet IPAL	146
Gambar 46b.	Pengukuran konsentrasi Nitrat di outlet IPAL	147
Gambar 47a.	Hasil Pengukuran Konsentrasi Fosfat di Inlet IPAL	148
Gambar 47b.	Hasil Pengukuran Konsentrasi Fosfat di outlet IPAL	149
Gambar48a.	Pengukuran total coliform di inlet IPAL	150
Gambar48b.	Pengukuran total coliform di oulet IPAL	150
Gambar 48c.	Pengukuran faecal coliform di inlet IPAL	151
Gambar 48d.	Pengukuran faecal coliform di outlet IPAL	151
Gambar 49a.	Pengukuran Phytoplankton di inlet IPAL	153
Gambar 49b.	Pengukuran Phytoplankton di outlet IPAL	153
Gambar 50a.	Pengukuran zooplankton di inlet IPAL	156
Gambar 50b.	Pengukuran zooplankton di outlet IPAL	156
Gambar 51.	Flowchart dalam Proses Model Biokimia	157
Gambar 52.	Kondisi bakteri pada keadaan steady state	164
Gambar 53.	Kondisi alga pada keadaan steady state	165
Gambar 54.	Kondisi zooplankton pada keadaan steady state	166
Gambar 55.	Kondisi COD pada keadaan steady state	167
Gambar 56.	Kondisi detritus pada keadaan steady state	167
Gambar 57.	Kondisi organik nitrogen pada keadaan steady state	168
Gambar 58.	Kondisi NH ₃ pada keadaan steady state	169
Gambar 59.	Kondisi organik pospor pada keadaan steady state	170
Gambar 60.	Kondisi pospor terlarut pada keadaan steady state	170

Gambar 61.	Kondisi oksigen terlarut pada keadaan steady state	171
Gambar 62.	Kondisi total coliform pada keadaan steady state	172
Gambar 63.	Kondisi faecal coliform pada keadaan steady state	173
Gambar 64.	Kondisi BOD pada keadaan steady state	174
Gambar 65.	Hubungan antara waktu proses dengan kandungan bakteri data dan hitung	183
Gambar 66.	Hubungan antara waktu proses dengan total individu alga data dan hitung	184
Gambar 67.	Hubungan antara waktu proses dengan total individu zooplankton data dan hitung	185
Gambar 68.	Hubungan antara waktu proses dengan konsentrasi COD data dan hitung	186
Gambar 69.	Hubungan antara waktu proses dengan detritus data dan hitung	187
Gambar 70.	Hubungan antara waktu proses dengan organik nitrogen data dan hitung	188
Gambar 71.	Hubungan antara waktu proses dengan NH ₃ data dan hitung	189
Gambar 72.	Hubungan antara waktu proses dengan organik phosphor data dan hitung	189
Gambar 73.	Hubungan antara waktu proses dengan Phosphor terlarut data dan hitung	190
Gambar 74.	Hubungan antara waktu proses dengan konsentrasi DO data dan hitung	191
Gambar 75.	Hubungan antara waktu proses dengan total coliform data dan hitung ..	192
Gambar 76.	Hubungan antara waktu proses dengan faecal coliform data dan hitung ..	193
Gambar 77.	Hubungan antara waktu proses dengan konsentrasi BOD data dan hitung	194
Gambar 78.	Distribusi polutan organik sepanjang kolam stabilisasi	196
Gambar 79.	Konsentrasi BOD dengan BOD prediksi sebagai Baku Mutu dan Toleransi $\pm 20\%$ pada keadaan <i>steady state</i>	201
Gambar 80.	Konsentrasi COD dengan COD prediksi sebagai Baku Mutu dan Toleransi $\pm 20\%$ pada keadaan <i>steady state</i>	202
Gambar 81.	Konsentrasi DO dengan DO prediksi sebagai Baku Mutu dan Toleransi $\pm 20\%$ pada keadaan <i>steady state</i>	203
Gambar 82.	Konsentrasi BOD dengan BOD prediksi sebagai Baku Mutu dan Toleransi $\pm 20\%$ untuk model dinamik	204
Gambar 83.	Konsentrasi COD dengan COD prediksi sebagai Baku Mutu dan Toleransi $\pm 20\%$ untuk model dinamik	205

Gambar 84.	Konsentrasi DO dengan DO prediksi sebagai Baku Mutu dan Toleransi $\pm 20\%$ untuk model dinamik	206
Gambar 85.	Hasil simulasi pengolahan air limbah domestik pada kapasitas rancangan 100%	209
Gambar 86.	Hasil simulasi pengolahan air limbah domestik pada kapasitas rancangan 40%	210
Gambar 87.	Debit Rata-rata, Terendah dan Tertinggi IPAL Bojongsoang Bandung	211
Gambar 88.	Total Coliform terhadap waktu dengan slope garis yang menunjukkan konstanta laju pertumbuhan maksimal	219
Gambar 89.	Hubungan antara waktu proses dengan konsentrasi BOD data dan hitung Bojongsoang	231
Gambar 90.	Hubungan antara waktu proses dengan konsentrasi DO data dan hitung Bojongsoang	232
Gambar 91.	Konsentrasi BOD dengan BOD prediksi sebagai Baku Mutu dengan Toleransi $\pm 20\%$ di IPAL Bojongsoang	235
Gambar 92.	Konsentrasi DO dengan DO prediksi sebagai Baku Mutu dengan Toleransi $\pm 20\%$ di IPAL Bojongsoang	235

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran I. Penelitian-Penelitian Terdahulu tentang Kolam Stabilisasi dan Permodelan	247
Lampiran II. Tabel Nilai Konstanta Model	255
Lampiran III. Listing Program Penyelesaian Sistem Persamaan Non Linier	257
Lampiran IV. Uji One Sample t-Test	263
Lampiran V. Uji Determinasi	265
Lampiran VI. Program Listing Penyelesaian PDB	267
Lampiran VII. Penyelesaian Persamaan PDP	275
Lampiran VIII. Distribusi Polutan	279
BIODATA	299

GLOSARI

- Baku mutu air : batas waktu kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen lainnya yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam air tertentu sesuai dengan peruntukannya.
- Biodegradable* : bahan polutan yang mudah terurai secara biologi.
- Biological Oxygen Demand (BOD)* : banyaknya oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik dengan bantuan mikroorganisme.
- Confounding factor* : faktor-faktor perancu; berbagai variabel yang menyebabkan hasil penelitian bias.
- Chemical Oxygen Demand (COD)* : jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam air melalui reaksi kimia.
- Dissolved Oxygen (DO)* : banyaknya oksigen yang terkandung di dalam air dan diukur dalam satuan mg/l.
- Energi : kapasitas untuk melakukan kerja. Energi dijumpai dalam berbagai bentuk, yaitu mekanik, listrik, kimia, panas, cahaya dan seterusnya.
- Entropi : bagian energi yang dapat dipakai untuk melakukan kerja
- Fotosintesis : Peristiwa perubahan CO₂ dan air menjadi karbon organik (karbonhidrat) dan oksigen dengan bantuan sinar matahari.
- Grit Chamber (GC)* : bak pengendap pasir dirancang untuk mengendapkan partikel
- Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) : instalasi pengolahan air limbah yang terhubung dengan saluran air kotor.
- Indikator Water Level (IWL)* : berfungsi membaca ketinggian permukaan air yang dinaikkan sehingga pompa-pompa berjalan secara otomatis.
- Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) : instalasi pengolahan air limbah yang di desain hanya menerima lumpur tinja melalui mobil atau gerobak tinja (tanpa perpipaan).
- Kinetika reaksi : ilmu yang mempelajari reaksi kimia secara kuantitatif dan juga mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhinya.
- Kolam aerasi anaerobik : unit kolam pengolahan air limbah dengan aerasi mekanik sebagai sumber oksigennya. Intensitas pengadukan tidak menjaga seluruh *settleable solid* berada di dalam suspensi.

- Kolam aerasi fakultatif : unit pengolahan air limbah dengan aerasi mekanik sebagai sumber oksigennya.
- Kolam stabilisasi fakultatif : untuk kolam pengolah air limbah dengan sumber oksigen dari fotosintesa algae. Tetapi oksigen yang tersedia hanya terdapat di bagian permukaan kolam.
- Kolam stabilisasi limbah : kolam yang digunakan untuk memperbaiki kualitas air limbah.
- Kolam maturasi : unit kolam pengolah air limbah dengan sumber oksigen dari fotosintesa algae. Oksigen yang tersedia terdapat di seluruh kedalaman kolam.
- Laju reaksi kimia* : jumlah mol reaktan per satuan volume yang bereaksi dalam satuan waktu tertentu.
- Laguna Limbah : Seperti kolam stabilisasi limbah dengan keberadaan aerator yang digunakan untuk membantu aerasi kolam.
- Laguna Aerasi Fakultatif (LAF) : setelah limbah melalui GC akan memasuki LAF yang terpasang *aerator* mekanis yang berfungsi menambah oksigen.
- Limbah domestik atau limbah rumah tangga : pembuangan air kotor dari kamar mandi, kakus dan dapur.
- Lumpur tinja : seluruh isi tangki septik, cubluk tunggal atau endapan lumpur dari underflow unit pengolahan air limbah lainnya yang pembersihannya dilakukan dengan mobil.
- Sludge Drying Bed* (SBD) : Tempat penampungan lumpur yang terkumpul pada dasar kolam yang dihisap dengan *ejector* udara bertekanan yang dikeringkan secara alamiah dan untuk selanjutnya dipergunakan sebagai pupuk.
- Termodinamika : ilmu tentang energi, yang secara spesifik membahas tentang hubungan antara energi panas dengan kerja.
- Hukum Termodinamika I : Energi dapat diubah dari suatu bentuk energi menjadi bentuk energi lain, tetapi energi tidak pernah dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnakan.
- Hukum Termodinamika II : setiap terjadi perubahan bentuk energi, pasti terjadi degradasi energi dari bentuk energi yang terpusat menjadi energy terpecah.
- Waktu tinggal : waktu perjalanan limbah cair di dalam kolam, atau lamanya proses pengolahan limbah cair tersebut