



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN TOTAL NITROGEN PADA SUNGAI
PESANGGRAHAN AKIBAT INPUT LINDI TPA CIPAYUNG
KOTA DEPOK BERUPA BEBAN IMPULS**

SKRIPSI

HANA MARYAM ISMAIL

0706275611

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN TOTAL NITROGEN PADA SUNGAI
PESANGGRAHAN AKIBAT INPUT LINDI TPA CIPAYUNG
KOTA DEPOK BERUPA BEBAN IMPULS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

HANA MARYAM ISMAIL

0706275611

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Hana Maryam Ismail

NPM : 0706275611

Tanda Tangan : 

Tanggal : 15 Juni, 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hana Maryam Ismail
NPM : 0706275611
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Pemodelan Total Nitrogen pada Sungai
Pesanggrahan Akibat Input Lindi TPA Cipayang
Kota Depok Berupa Beban Impuls

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Nyoman Suwartha, ST., MT., M.Agr. (.....)
Pembimbing : Ir. Irma Gusniani, M.Sc. (.....)
Penguji : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E., M.Eng. (.....)
Penguji : Ir. G.S.B. Andari Kristanto, M.Eng. Ph.D. (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 15 Juni 2011

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by :
Name : Hana Maryam Ismail
NPM : 0706275611
Study Program : Environmental Engineering
Title : Modelling of Total Nitrogen at
Pesanggrahan River Due to Leachate
Input of Cipayung Landfill Depok with
Impulse Loading

Has been successfully defended in front of the examiner and was accepted as part of the necessary requirement to obtain Engineer Bachelor Degree in Environmental Engineering Program, Engineering Faculty, University of Indonesia.

BOARD OF EXAMINERS

Counselor : Dr. Nyoman Suwartha, ST., MT., M.Agr. (.....)
Counselor : Ir. Irma Gusniyani, M.Sc. (.....)
Examiner : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E., M.Eng. (.....)
Examiner : Ir. G.S.B. Andari Kristanto, M.Eng. Ph.D. (.....)

Approved at : Depok
Date : June 15 2011

KATA PENGANTAR

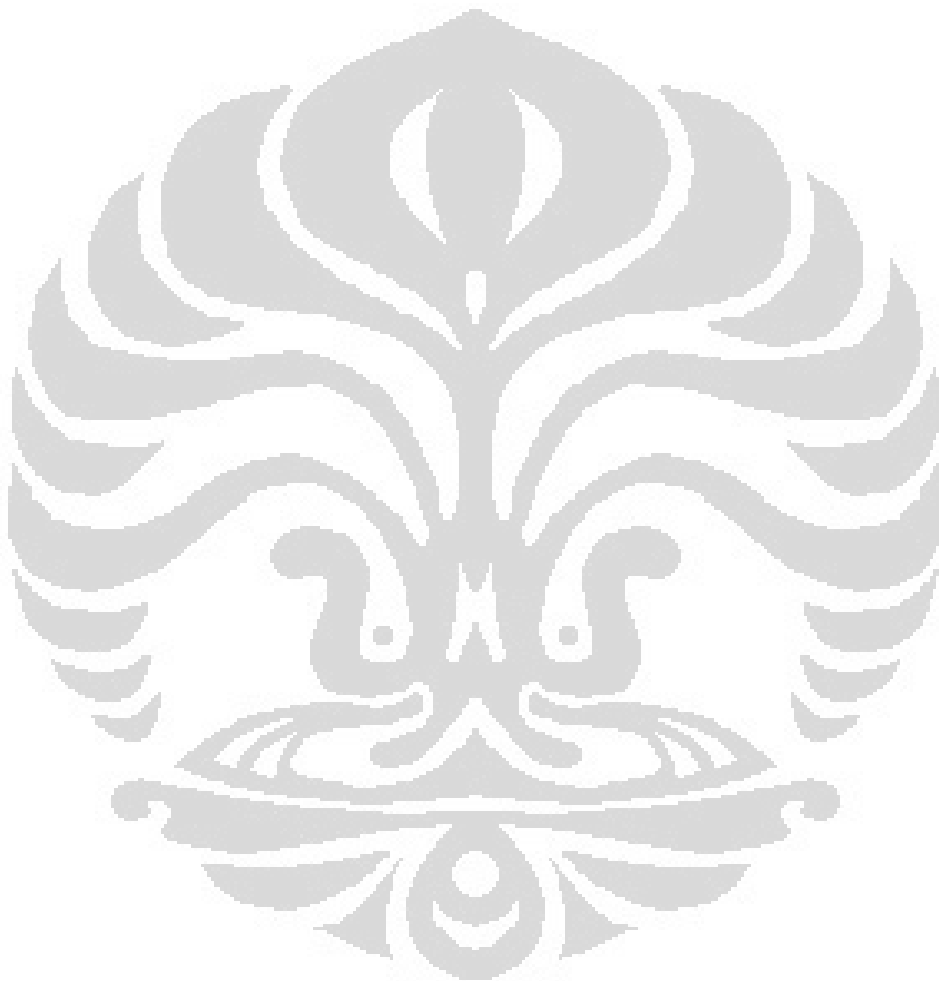
Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Nyoman Suwartha, ST., MT., M.Agr. dan Ir. Irma Gusniani, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan, waktu, serta tenaga untuk membimbing saya selama penyusunan skripsi ini.
- (2) Seluruh Dosen Teknik Lingkungan Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingannya selama masa perkuliahan.
- (3) Dwinanti Rika, S.T., M.T. yang telah membantu dalam pemahaman konsep pemodelan kualitas air permukaan.
- (4) Pihak TPA Cipayung Kota Depok atas bantuan dan kerjasamanya dalam memberikan izin penelitian dan informasi yang dibutuhkan dalam penyusunan skripsi ini.
- (5) Mama, Papa, dan keluarga yang telah memberikan doa, perhatian, dan dukungan kepada saya selama penyusunan skripsi.
- (6) Marciela Esa Dewa yang telah memberikan perhatian dan dukungan kepada saya selama penyusunan skripsi.
- (7) Subagyo, Sri Diah Handayani, dan Licka Kamadewi selaku laboran yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian baik di lapangan maupun di laboratorium.
- (8) Gita Lestari, Adhie Kurnia, dan teman-teman Teknik Lingkungan UI 2007 yang telah memberikan dukungan moril selama penyusunan skripsi.
- (9) Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWt berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hana Maryam Ismail
NPM : 0706275611
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pemodelan Total Nitrogen pada Sungai Pesanggrahan Akibat Input Lindi TPA Cipayung Kota Depok Berupa Beban Impuls

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 15 Juni, 2011

Yang menyatakan



(Hana Maryam Ismail)

ABSTRAK

Nama : Hana Maryam Ismail
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pemodelan Total Nitrogen pada Sungai Pesanggrahan Akibat Input Lindi TPA Cipayung Kota Depok Berupa Beban Impuls

Lindi TPA Cipayung yang dibuang secara kontinu ke Sungai Pesanggrahan akan terakumulasi dan meningkatkan konsentrasi pencemar di sungai. Salah satu pencemar tersebut adalah total nitrogen. Setelah dilakukan pengukuran, konsentrasi total nitrogen pada lindi mencapai 106,2 mg-N/L. Berdasarkan Chapra (1997), konsentrasi pencemar di badan air penerima akan berkurang terhadap jarak dan waktu jika limbah dibuang ke perairan dengan beban impuls. Oleh karena itu pada penelitian ini akan ditinjau perubahan konsentrasi total nitrogen yang terjadi jika lindi TPA Cipayung dibuang secara beban impuls dengan pemodelan numerik menggunakan Metode Finite Difference-Runge Kutta.

Setelah dilakukan penyusunan model dengan memasukan komponen model yang ditinjau dari karakteristik total nitrogen serta Sungai Pesanggrahan, diperoleh setelah waktu 3,125 detik terjadi peburunan konsentrasi total nitrogen di sungai sebesar 0,3 mg-N/L. Namun penurunan konsentrasi tidak konstan sehingga membentuk grafik penurunan eksponensial. Sedangkan penurunan konsentrasi terhadap jarak berkurang secara konstan sebesar 7×10^{-9} mg-N/L dengan selang 2 meter. Penurunan konsentrasi total nitrogen di sungai dapat mengurangi terjadinya racun di perairan akibat amonia bebas, nitrifikasi, serta eutrofikasi.

Kata kunci:

Model sungai dengan beban impuls, total nitrogen, Finite Difference-Runge Kutta

ABSTRACT

Name : Hana Maryam Ismail
Study Program : Environmental Engineering
Title : Modelling of Total Nitrogen at Pesanggrahan River Due to Leachate Input of Cipayung Landfill Depok with Impulse Loading

Discharge of Cipayung Landfill's leachate continuously into Pesanggrahan River will be accumulated and increase the concentration of pollutants in rivers. One of the pollutants is total nitrogen. After measurement, concentration of total nitrogen in leachate reach 106.2 mg-N/L. Based on Chapra (1997), concentration of pollutant in water bodies will be reduced toward the distance and time if pollutant discharged into river with impulse loading. Therefore, in this study the changes of total nitrogen concentration that occurs when the landfill's leachate discharge with impulse loading is simulated by numerical modeling using Finite Difference-Runge Kutta Method.

After model developed by input components model and considering characteristics of total nitrogen and Pesanggrahan River, concentration of total nitrogen will be decreased 0,3 mg-N/L on 3,125 seconds after leachate discharge into river. But, decreasing of concentration is not constant and form the exponential graph. While decreasing concentration of total nitrogen toward a distance show a constant value. Concentration of total nitrogen decreased 7×10^{-9} mg-N / L with an interval of 2 meters. Decreasing concentration of total nitrogen in rivers can reduce the occurrence of ammonia toxicity, nitrification, and eutrophication.

Key words :
River's model with impulse loading, total nitrogen, Finite Difference-Runge Kutta

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	II
KATA PENGANTAR	III
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	VI
ABSTRAK	VII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR TABEL	XII
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR LAMPIRAN	XVI
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 STUDI PUSTAKA	8
2.1 Pencemaran	8
2.1.1 Pencemaran Air	8
2.1.2 Karakteristik Limbah Cair	8
2.1.2.1 Parameter Fisik.....	8
2.1.2.2 Parameter Kimia.....	9
2.1.2.3 Parameter Biokimia	10
2.1.2.4 Parameter Biologis	11
2.1.3 Kualitas Limbah	12
2.2 Nitrogen	13
2.2.1 Siklus Nitrogen.....	14
2.2.2 Nitrogen Dalam Air	15
2.2.3 Nitrogen Sebagai Parameter Pencemar Air	17
2.2.3.1 Nitrifikasi	17
2.2.3.2 <i>Ammonia Toxicity</i>	24
2.2.4 Metode Pengukuran Total Nitrogen	25
2.3 Lindi Sebagai Limbah <i>Landfill</i>	27
2.3.1 Tinjauan Umum Lindi	27
2.3.2 Komposisi Lindi	27
2.4 Pemodelan Kualitas Air Permukaan	29
2.4.1 Tinjauan Umum.....	29
2.4.2 Jenis Input Beban Pencemar	32
2.4.3 Pemodelan Kualitas Air Sungai	33

2.4.4	Koefisien Laju Reaksi.....	36
2.4.5	Metode Numerik.....	39
2.4.5.2	Metode Euler.....	40
2.4.5.3	Metode Heun.....	40
2.4.5.4	Metode-Runge Kutta.....	42
2.4.6	Pendekatan Kontrol Volume.....	43
2.4.6.1	Kontrol Volume.....	43
2.4.6.2	Pendekatan Kontrol Volume (Solusi <i>Steady State</i>).....	44
2.4.7	Solusi <i>Simple Time-Variable</i>	45
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		47
3.1	Tinjauan Umum.....	47
3.2	Kerangka Pemikiran.....	48
3.3	Diagram Penelitian.....	48
3.4	Tahapan Proses Pemodelan.....	50
3.4.1	Spesifikasi Masalah.....	50
3.4.2	Pemilihan Metode dalam Pemodelan Konsentrasi di Sungai.....	51
3.4.3	Penyusunan Model.....	52
3.4.3.1	Perhitungan Komponen Model.....	54
3.4.3.2	Penyusunan Model.....	59
3.4.3.3	Perhitungan Amonia, Nitrit, dan Nitrat.....	62
3.4.4	Perbedaan Hasil Model dengan Observasi.....	63
3.5	Analisa.....	64
BAB 4 GAMBARAN UMUM OBJEK STUDI.....		66
4.1	Gambaran Umum Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Cipayung.....	66
4.2	Struktur Organisasi TPA Cipayung.....	67
4.3	Data Teknis TPA Cipayung.....	67
4.4	Infrastruktur dan Fasilitas TPA Cipayung.....	69
4.5	Operasional TPA Cipayung.....	71
4.6	Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Cipayung.....	73
4.7	Lokasi Pengambilan Data Primer.....	75
BAB 5 HASIL DAN PENGOLAHAN DATA.....		76
5.1	Hasil dan Pengolahan Data Komponen Model.....	76
5.1.1	Debit Lindi TPA Cipayung.....	76
5.1.2	Konsentrasi Total Nitrogen Lindi.....	77
5.1.3	Debit Sungai Pesanggrahan.....	78
5.1.4	Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Pesanggrahan.....	79
5.1.5	Laju Peluruhan (<i>Decay Rate</i>) Total Nitrogen.....	80
5.1.6	Koefisien Dispersi Sungai Pesanggrahan.....	83
5.2	Penyusunan Model.....	84
5.2.1	Penentuan keseimbangan massa (<i>mass balance</i>) sungai.....	84
5.2.2	Pemodelan konsentrasi total nitrogen berdasarkan perubahan jarak dan waktu dengan Metode Finite Difference-Runge Kutta.....	85

5.2.2.1	Penentuan <i>initial condition</i> dengan variabel jarak	86
5.2.2.2	Penentuan model konsentrasi terhadap jarak dan waktu dengan Metode <i>Finite Difference-Runge Kutta</i>	90
5.3	Perbedaan Hasil Model dengan Observasi	97
5.3.1.1	Perbedaan Konsentrasi Total Nitrogen antara Model dan Observasi terhadap Perubahan Jarak	100
5.3.1.2	Perbedaan Konsentrasi Total Nitrogen antara Model dan Observasi terhadap Perubahan Waktu	101
BAB 6	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	102
6.1	Analisa Komponen Model.....	102
6.1.1	Debit Lindi TPA Cipayung	102
6.1.2	Konsentrasi Total Nitrogen Lindi.....	102
6.1.3	Debit Sungai Pesanggrahan	105
6.1.4	Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Pesanggrahan	106
6.1.5	Laju Peluruhan (<i>Decay Rate</i>) Total Nitrogen	107
6.1.6	Koefisien Dispersi Sungai Pesanggrahan	108
6.2	Analisa Model	109
6.2.2	Analisa Perhitungan <i>Initial Condition</i>	112
6.2.3	Analisa Pemodelan Numerik Dengan Metode <i>Finite Difference Runge Kutta</i>	114
6.2.4	Analisa Konsentrasi Terhadap Perubahan Jarak	115
6.2.5	Analisa Konsentrasi Terhadap Perubahan Waktu	117
6.2.6	Analisa Total Nitrogen di Sungai Pesanggrahan.....	118
6.3	Analisa Perbandingan Model dengan Hasil Observasi	123
6.3.1	Analisa Model Observasi	123
6.3.2	Analisa Konsentrasi terhadap Waktu Berdasarkan Model dan Observasi.....	129
6.3.3	Analisa Konsentrasi Terhadap Jarak Berdasarkan Model dan Observasi	131
6.3.4	Analisa Konsentrasi Total Nitrogen Berdasarkan Model Observasi.....	133
BAB 7	KESIMPULAN DAN SARAN.....	135
7.1	Kesimpulan	135
7.2	Saran	136
	DAFTAR PUSTAKA	137
	DAFTAR LAMPIRAN	140

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Penentuan debit Sungai dengan <i>Current Meter</i>	56
Tabel 3.2. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Waktu	57
Tabel 3.3. Perbandingan Konsentrasi terhadap Jarak Hasil Model dan Observasi pada $l = 1$	63
Tabel 3.4. Perbandingan Konsentrasi terhadap Jarak Hasil Model dan Observasi pada $i = 2$	64
Tabel 4.1. Kondisi TPA Cipayung Depok	67
Tabel 5.1. Data Pengukuran Debit Lindi	76
Tabel 5.2. Perhitungan Rata-Rata Debit Lindi	77
Tabel 5.3. Data Pengukuran Total Nitrogen Lindi	78
Tabel 5.4. Hasil Pengukuran Total Nitrogen Lindi	78
Tabel 5.5. Data Pengukuran Debit Sungai	78
Tabel 5.6. Data Pengukuran Total Nitrogen Sungai Pesanggrahan	79
Tabel 5.7. Hasil Pengukuran Total Nitrogen Sungai Pesanggrahan	79
Tabel 5.8. Data Pengukuran Laju Peluruhan Total Nitrogen	80
Tabel 5.9. Data Reaksi Orde Nol	81
Tabel 5.10. Data Reaksi Orde Satu	81
Tabel 5.11. Data Reaksi Orde Dua	82
Tabel 5.12. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak dengan Kondisi <i>Steady State</i>	88
Tabel 5.13. Total Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak dengan Kondisi <i>Steady State</i>	89
Tabel 5.14. Konsentrasi Total Nitrogen Berdasarkan Perubahan Jarak dan Waktu	94
Tabel 5.15. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $l=2$	95
Tabel 5.16. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $i=10$	96
Tabel 5.17. Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Terhadap Waktu	99
Tabel 5.18. Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Terhadap Jarak	99
Tabel 5.19. Konsentrasi Total Nitrogen Berdasarkan Observasi	99
Tabel 5.20. Persentase Perbedaan Konsentrasi antara Model dan Observasi	100
Tabel 5.21. Persentase Perbedaan Konsentrasi antara Model dan Observasi	101
Tabel 6.1. Data Pengukuran Total Nitrogen Lindi	103
Tabel 6.2. Nilai R^2 pada Grafik Penentuan Orde Reaksi	108
Tabel 6.3. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak pada Kondisi <i>Steady State</i>	113
Tabel 6.4. Perbedaan antara Model Awal dengan Observasi	125
Tabel 6.5. Perubahan Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak dan Waktu	127

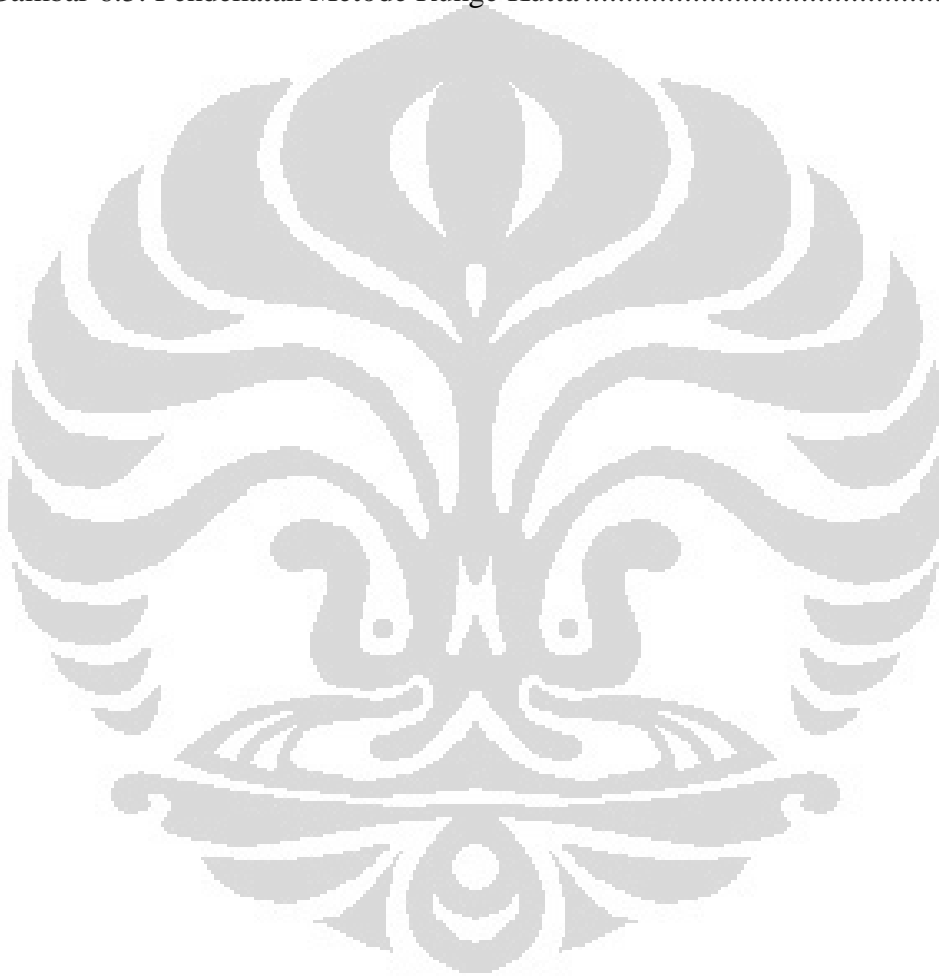
Tabel 6.6. Perbandingan Konsentrasi antara Model dengan Observasi Terhadap Waktu	129
Tabel 6.7. Perbandingan Konsentrasi antara Model dengan Observasi Terhadap Jarak	131



DAFTAR GAMBAR

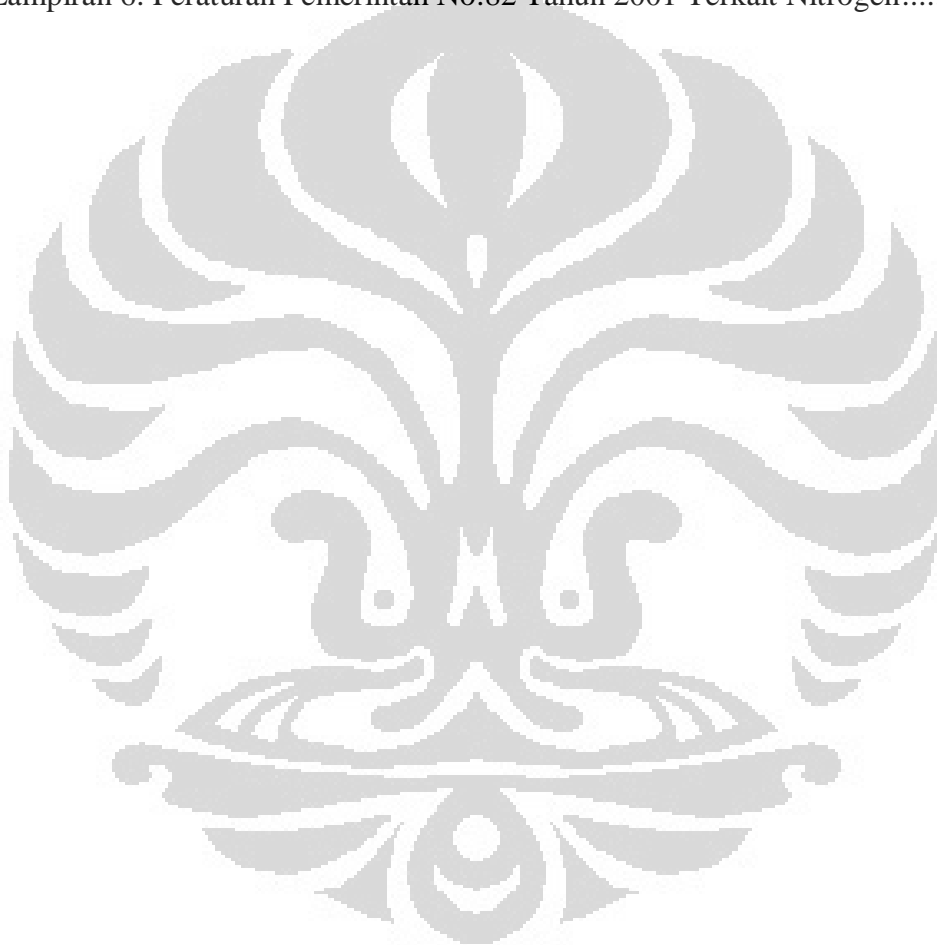
Gambar 2.1. Siklus Nitrogen.....	14
Gambar 2.2. Efek pH pada pertumbuhan <i>Nitrosomonas</i> dan <i>Nitrobacter</i>	20
Gambar 2.3. (a) Keterbatasan Fosfor (b) Keterbatasan Nitrogen.....	22
Gambar 2.4. Hubungan antara pH, temperatur, serta konsentrasi amonia.....	25
Gambar 2.5. Komposisi gas dan lindi <i>landfill</i> berdasarkan perubahan waktu.....	29
Gambar 2.6. Proses manajemen kualitas air	30
Gambar 2.7. (a) Proses pemodelan kualitas air (b) Informasi yang dibutuhkan untuk keefektifan implementasi.....	30
Gambar 2.8 (a) Input limbah secara impuls (b) Respon dalam badan air.....	32
Gambar 2.9. Transportasi Senyawa pada Jarak dan Waktu Melalui Adveksi dan Dispersi	33
Gambar 2.10. <i>Mixed Flow Reactor</i> (MFR)	34
Gambar 2.11. <i>Point source</i>	35
Gambar 2.12. <i>Mass balance</i> untuk input <i>point source</i> ke dalam sistem MFR	35
Gambar 2.13. Grafik konsentrasi vs waktu untuk reaksi orde nol	37
Gambar 2.14. Grafik konsentrasi vs waktu untuk reaksi orde nol	38
Gambar 2.15. Penentuan <i>decay value</i>	39
Gambar 2.16 (a) Grafik <i>Predictor</i> (b) Grafik <i>Corrector</i> pada Metode Heun	41
Gambar 2.17. Pendekatan <i>Slope</i> Pada Metode Runge Kutta	43
Gambar 2.18. Keseimbangan Massa Pada Kontrol Volume	43
Gambar 2.19. Karakterisasi dimensi spasial dan temporal dengan grid	46
Gambar 3.1. Diagram Penelitian	49
Gambar 3.2. Diagram Alir Penentuan Nilai W	55
Gambar 4.1. Struktur Organisasi TPA Cipayung	67
Gambar 4.2. Lokasi Zona A,B, dan C TPA Cipayung	68
Gambar 4.3. <i>Layout</i> TPA Cipayung	68
Gambar 4.4. Proses Pembongkaran Sampah TPA Cipayung.....	72
Gambar 4.5. Instalasi Pengolahan Lindi 2 TPA Cipayung	74
Gambar 4.6. Instalasi Pengolahan Lindi 2 TPA Cipayung	74
Gambar 4.7. Kondisi Lindi pada Instalasi Pengolahan Lindi 2.....	75
Gambar 4.8. Sungai Pesanggrahan Sebagai Badan Air Penerima Buangan Lindi TPA Cipayung	75
Gambar 5.1. Grafik Reaksi Orde Nol	81
Gambar 5.2. Grafik Reaksi Orde Satu	82
Gambar 5.3. Grafik Reaksi Orde Dua.....	82
Gambar 5.4. Representasi Pendekatan <i>Finite Difference</i>	86
Gambar 5.5. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Dalam Kondisi <i>Steady State</i>	90
Gambar 5.6. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $l=2$	96

Gambar 5.7. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Waktu Saat $i = 10$	97
Gambar 5.8. Grafik Konsentrasi antara Model dan Observasi Berdasarkan Perubahan Jarak	100
Gambar 5.9. Grafik konsentrasi antara model dan observasi berdasarkan perubahan waktu	101
Gambar 6.1. Karakterisasi dimensi spasial dan temporal dengan grid	111
Gambar 6.2. Representasi Pendekatan <i>Finite Difference</i>	111
Gambar 6.3. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $l = 2$	116
Gambar 6.4. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Waktu Saat $i = 10$...	117
Gambar 6.5. Pendekatan Metode Runge Kutta	130



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Pemeriksaan Total Nitrogen (JIS)	140
Lampiran 2. Perhitungan Konsentrasi terhadap Jarak ($\Delta x=5$ m) dengan Metode Kontrol Volume	141
Lampiran 3. Perhitungan Runge Kutta untuk $\Delta t = 7,8125$ detik	143
Lampiran 4. Perhitungan Konsentrasi terhadap Jarak ($\Delta x=2$ m) dengan Metode Kontrol Volume	153
Lampiran 5. Perhitungan Runge Kutta untuk $\Delta t = 3,125$ detik	155
Lampiran 6. Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 Terkait Nitrogen.....	165



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tempat pembuangan akhir (TPA) sebagai salah satu fasilitas pengolahan sampah merupakan sarana penting dalam pengolahan sampah terpadu. TPA digunakan sebagai tempat pembuangan akhir bagi sampah-sampah yang sudah tidak dapat diolah lagi menjadi materi yang dapat digunakan kembali. Jika pengolahan sampah dilakukan berdasarkan ketentuan, akan memberikan dampak positif seperti pencegahan terhadap pencemaran lingkungan serta peningkatan pendapatan penduduk. Sebaliknya, bila sampah yang telah dikumpulkan pada tempat pembuangan akhir tidak diolah berdasarkan ketentuan yang ditetapkan, akan menimbulkan berbagai macam pencemaran lingkungan berupa pencemaran udara yang mengandung mikroorganisme dan gas H₂S, pencemaran tanah akibat dekomposisi sampah organik, dan pencemaran air akibat lindi yang dihasilkan dari sampah. Selain itu, bila di sekitar tempat pembuangan sampah tersebut terdapat perairan maka tidak menutup kemungkinan jika air lindi tersebut akan mencemari lingkungan perairan.

Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan yang masuk ke dalam limbah padat pada tempat pembuangan akhir (TPA). Air tersebut dapat berasal dari aliran permukaan, hujan, air tanah, serta air yang dihasilkan dari dekomposisi limbah. Pada tempat pembuangan akhir yang masih beroperasi, BOD lindi dapat mencapai antara 2000 – 30.000 mg/l, COD antara 3000 – 60.000 mg/l, amonia nitrogen antara 10-800 mg/l, dan pH antara 4,5 – 7,5 (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Jika lindi tidak memiliki pengolahan khusus, dapat terbawa oleh air sehingga dapat melimpah keluar dan menjadi sumber limbah cair yang dapat mencemari perairan dan tanah di lokasi sekitar tempat pembuangan sampah.

Salah satu senyawa yang terdapat pada lindi adalah nitrogen yang berasal dari dekomposisi sampah organik. Nitrogen adalah unsur yang paling melimpah di biosfer bumi. Selain itu nitrogen merupakan salah satu dari enam elemen (C, H, O, N, P, dan S) yang merupakan unsur utama dari jaringan hidup. Atmosfer bumi terdiri dari 78% gas nitrogen (N_2) namun sebagian besar unsur tersebut tidak dapat digunakan oleh makhluk hidup. Nitrogen pada air dapat ditemukan dalam nitrogen organik, amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), dan molekul nitrogen (N_2) dalam bentuk gas. Kelebihan nitrogen menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) akibat dua proses yang berlangsung yaitu nitrifikasi dan eutrofikasi (U.S. EPA, 2002). Nitrifikasi yaitu perubahan reaksi kimia dari senyawa amonium menjadi nitrat yang membutuhkan jumlah oksigen yang sangat besar. Hal ini akan mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut pada perairan. Sedangkan eutrofikasi adalah peristiwa pertumbuhan makhluk hidup seperti alga dan ganggang yang berlangsung secara cepat ketika kandungan nutrisi dalam perairan berada dalam jumlah berlebih (Chapra, 1997). Dampak lain yang ditimbulkan adalah polusi nitrogen dan *ammonia toxicity*. Amonia yang terkandung pada air dalam bentuk ion NH_4^+ dan gas NH_3 menyebabkan racun pada makhluk hidup seperti ikan di perairan tersebut. Dari penjelasan tersebut dapat diidentifikasi bahwa senyawa-senyawa nitrogen dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Secara umum, senyawa-senyawa nitrogen tersebut dapat digabung sebagai total nitrogen.

Tempat pembuangan akhir yang memiliki instalasi pengolahan lindi adalah TPA Cipayung. TPA Cipayung merupakan tempat pembuangan akhir sampah yang berasal dari seluruh wilayah Kota Depok. Pengolahan lindi pada TPA Cipayung berupa *stabilization pond* yang bertujuan untuk mengurangi kadar pencemar baik organik maupun anorganik dari lindi sebelum dibuang ke Sungai Pesanggrahan secara kontinu. Namun berdasarkan hasil pemeriksaan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan UI tahun 2010, kandungan COD dan amonia yang berasal dari total nitrogen efluen lindi TPA Cipayung masing-masing mencapai 3328 mg/L dan 128,9 mg-N/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, batas maksimum konsentrasi COD dan amonia masing-

masing mencapai 100 mg/L dan 1 mg/L untuk limbah cair golongan I. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa kualitas efluen lindi TPA Cipayung belum memenuhi baku mutu limbah cair. Selain itu berdasarkan hasil survey penulis sebelumnya, permukaan Sungai Pesanggrahan di daerah sekitar lokasi pembuangan efluen lindi TPA Cipayung terlihat alga yang cukup besar. Hal ini dapat terjadi karena kandungan nutrisi yang tinggi dari efluen pengolahan lindi TPA. Jumlah alga yang cukup besar ini dapat mengakibatkan oksigen terlarut di dalam sungai tersebut menjadi rendah sehingga dapat diprediksi bahwa peningkatan jumlah alga pada Sungai Pesanggrahan salah satunya merupakan hasil dari pencemar nitrogen yang berasal dari efluen pengolahan lindi TPA Cipayung. Salah satu cara untuk memprediksi konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan melalui suatu pemodelan kualitas air permukaan. Pemodelan kualitas air permukaan merupakan salah satu alat yang digunakan untuk memperkirakan konsentrasi suatu pencemar berdasarkan perubahan jarak maupun waktu. Dengan mengetahui konsentrasi tersebut dapat dianalisa tingkat pencemaran yang terjadi di Sungai Pesanggrahan akibat lindi TPA Cipayung dengan parameter total nitrogen sebagai pencemar.

Berdasarkan perhitungan analitik, konsentrasi pencemar di badan air penerima akan berkurang terhadap jarak dan waktu jika limbah dibuang ke perairan secara impuls (Chapra, 1997). Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk meninjau penurunan konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat air buangan lindi TPA Cipayung terhadap perubahan jarak dan waktu jika input limbah dibuat secara impuls dalam suatu pemodelan. Konsentrasi total nitrogen yang diprediksi dengan pemodelan menggunakan metode numerik akan dibandingkan hasilnya dengan hasil observasi lapangan sehingga diketahui nilai penyimpangan yang terjadi. Dengan model tersebut dapat dijadikan suatu alat untuk memantau kondisi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat buangan lindi TPA Cipayung secara impuls.

1.2 Perumusan Masalah

Lindi TPA Cipayung yang dibuang ke Sungai Pesanggrahan secara kontinu dapat terakumulasi di perairan dan meningkatkan konsentrasi pencemar di

sungai. Pencemar yang dimaksud pada penelitian ini yaitu total nitrogen. Konsentrasi total nitrogen pada lindi dapat mencapai 106,2 mg-N/L. Selain itu, sebelum adanya input lindi di sungai, konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan mencapai 0,869 mg-N/L. Kelebihan senyawa-senyawa nitrogen pada perairan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan seperti eutrofikasi, *ammonia toxicity*, dan penurunan konsentrasi oksigen terlarut di perairan akibat nitrifikasi. Berdasarkan *Surface Water Quality Modelling*, respon konsentrasi dari beban yang masuk ke badan air secara impuls akan mengalami penurunan terhadap jarak dan waktu. Oleh karena itu pembuangan lindi dengan beban impuls dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk mengurangi pencemaran air akibat lindi TPA Cipayung. Sehingga perumusan masalah yang diangkat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana melakukan suatu pemodelan konsentrasi total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan jika input lindi TPA Cipayung berupa beban impuls?
- b. Berapa besar kandungan total nitrogen di Sungai Pesanggrahan terhadap perubahan jarak dan waktu dengan cara pemodelan secara numerik apabila jenis input lindi berupa beban impuls?
- c. Berapa besar perbedaan hasil yang diperoleh berdasarkan model dan observasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini didasarkan pada permasalahan yang telah diangkat sebelumnya, dengan fokus memodelkan konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat beban secara impuls yang berasal dari lindi TPA Cipayung. Berikut ini merupakan penjabaran dari tujuan penelitian yang akan dibuat.

- a. Menyusun model konsentrasi total nitrogen pada sungai jika input limbah berupa beban impuls.
- b. Menentukan perubahan konsentrasi total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan terhadap jarak dan waktu dengan model numerik.
- c. Menghitung perbedaan konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan berdasarkan model dan observasi.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang penelitian mencakup batasan-batasan yang digunakan saat membuat suatu model dari penelitian yang dilakukan. Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

- a. Parameter pencemar yang akan dimodelkan terhadap perubahan jarak dan waktu adalah total nitrogen.
- b. Input total nitrogen yang dimodelkan diasumsikan hanya berasal dari buangan lindi TPA Cipayung secara impuls.
- c. Metode pengukuran total nitrogen untuk observasi menggunakan Metode Kjedahl berdasarkan *Japanese International Standard (JIS)*.
- d. Konsentrasi senyawa-senyawa turunan nitrogen seperti amonia, nitrit, dan nitrat diperoleh dari perhitungan secara analitik berdasarkan perbandingan massa relatifnya terhadap nitrogen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pihak yang terkait. Manfaat tersebut berupa :

- a. Manfaat Bagi Penulis

Penelitian ini digunakan sebagai tugas akhir bagi penulis agar memenuhi salah satu syarat mendapat gelar sarjana. Selain itu melalui penelitian ini penulis dapat mempelajari lebih dalam tentang pemodelan kualitas air permukaan dan mengetahui dampak yang ditimbulkan oleh suatu pencemar dalam badan air.

- b. Manfaat Teoritis

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu contoh penerapan pemodelan kualitas air serta dapat memaparkan dampak yang ditimbulkan akibat keberadaan nitrogen di perairan yang ditinjau dari segi lingkungan dan kesehatan manusia.

- c. Manfaat Praktis

Penerapan pemodelan perubahan konsentrasi total nitrogen pada perairan khususnya di Sungai Pesanggrahan. Dengan pemodelan ini dapat menjadi

salah satu masukan bagi pihak TPA Cipayung dalam membuang efluen pengolahan lindi ke Sungai Pesanggrahan agar mengurangi pencemaran Sungai Pesanggrahan.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar tugas akhir ini terdiri dari tujuh bab, yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan dari tugas akhir ini.

BAB II. STUDI LITERATUR

Bab ini membahas tentang teori yang terkait dengan pemodelan kualitas air permukaan yang dikhususkan pada pemodelan air sungai, tinjauan mengenai lindi yang berasal dari tempat pembuangan akhir, serta tinjauan tentang keberadaan nitrogen di perairan yang dimulai dari siklus nitrogen dan kemudian diakhiri dengan dampak yang ditimbulkan oleh nitrogen pada perairan.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan model maupun penulisan analisa pada penelitian yang dimulai dari kerangka berfikir, diagram alir penelitian, penjabaran persamaan yang digunakan dalam penyusunan model, hingga penulisan analisa.

BAB IV. GAMBARAN UMUM OBJEK STUDI

Bab ini berisi tentang gambaran umum TPA Cipayung dan Sungai Pesanggrahan dimana sungai tersebut merupakan badan air penerima yang dimodelkan dengan total nitrogen sebagai parameter pencemar yang berasal dari buangan lindi TPA Cipayung

BAB V. HASIL DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi tentang pengolahan data primer untuk membentuk komponen model yang selanjutnya akan dimasukkan ke dalam sebuah persamaan model konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dan waktu akibat buangan lindi TPA Cipayung secara impuls. Selain itu dilakukan perbandingan mengenai konsentrasi total nitrogen yang diperoleh dari model dan observasi.

BAB VI. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang analisa hasil dari pengolahan komponen model yang telah dilakukan. Selanjutnya model perubahan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dan waktu yang telah dibuat akan dibandingkan dengan studi pustaka dan observasi lapangan.

BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas kesimpulan yang merupakan ringkasan isi dari penelitian yang telah dibuat. Saran yang dipaparkan berdasarkan dari tinjauan ulang hasil penelitian yang dihubungkan dengan studi literatur.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1 Pencemaran

Menurut Undang-Undang No.23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran lingkungan hidup didefinisikan masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

2.1.1 Pencemaran Air

Pencemaran air menurut PP No.20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Komponen atau zat yang mencemari perairan disebut dengan limbah cair.

Limbah cair merupakan sisa buangan hasil suatu proses yang sudah tidak dipergunakan lagi, yang berasal dari kegiatan domestik, komersial, maupun industri. Komponen utama limbah cair adalah air (99%) dan komponen lainnya bahan padat yang bergantung asal buangan tersebut.

2.1.2 Karakteristik Limbah Cair

2.1.2.1 Parameter Fisik

a. Bau, Warna, dan Rasa

Warna pada air limbah dapat disebabkan oleh kehadiran bahan organik seperti bahan-bahan humik dan pelarutan logam seperti besi dan mangan yang berwarna pekat. Rasa pada air disebabkan oleh adanya zat garam yang tersuspensi maupun terlarut dalam air secara berlebihan. Sedangkan bau dapat saja disebabkan oleh bakteri, gas-gas terlarut, mineral-mineral, ataupun fenol.

b. Kekeruhan

Kekeruhan menunjukkan sifat optis di dalam air karena terganggunya cahaya matahari saat masuk ke dalam air akibat adanya koloid dan suspensi. Kekeruhan pada air dapat disebabkan oleh material organik dan anorganik. Satuan pengukuran untuk kekeruhan yaitu NTU.

c. Temperatur

Temperatur adalah sifat termodinamis cairan akibat aktivitas molekul dan atom di dalam cairan tersebut. Semakin besar aktivitas yang berada di perairan, semakin tinggi temperatur air.

d. *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solids (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2,0 μm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid (Sawyer, 2003). *Suspended Solids* terdiri dari material inorganik seperti pasir, lempung dan material organik, seperti alga, zooplankton, bakteri yang terbawa oleh limpasan air dari daratan. Pada umumnya kandungan *Total Suspended Solids (TSS)* lebih banyak berbentuk material inorganik daripada material organik.

2.1.2.2 Parameter Kimia

a. pH

pH merupakan pendekatan matematis kimia dimana p mewakili $-\log_{10}$ dan H mewakili konsentrasi ion hidrogen $[\text{H}^+]$. pH adalah suatu ukuran derajat keasaman dari larutan. Larutan pada temperatur 25° C dengan pH kurang dari 7 disebut sebagai asam sedangkan dengan pH lebih dari 7 disebut basa. pH 7 juga disebut sebagai larutan netral pada temperatur 25° C.

b. Kesadahan

Kesadahan air terutama disebabkan oleh adanya ion-ion seperti kalsium dan magnesium. Ion-ion ini terdapat dalam air dalam bentuk sulfat, klorida, dan hidrogen karbonat. Kesadahan air alam biasanya disebabkan garam karbonat atau garam asamnya. Kehadiran kalsium klorida (CaCl_2) atau magnesium sulfat (MgSO_4) sangat dipengaruhi geologi tanah di sekitarnya. Sungai yang mengalir ke daerah yang mengandung kalsium sulfat (CaSO_4) akan

mengandung garam tersebut. Kesadahan tidak saja disebabkan oleh pencemaran limbah, tetapi susunan geologi tanah di sekitar sungai juga berpengaruh (Sastrawijaya, 1991).

c. Nitrogen

Nitrogen pada air dapat berbentuk nitrogen organik, amonia, amonium, nitrit, serta nitrat. Nitrogen pada air dapat berasal dari udara bebas serta dekomposisi material organik. Kelebihan nitrogen pada perairan dapat menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut akibat proses nitrifikasi, racun pada air yang disebabkan oleh amonia, meningkatkan pertumbuhan alga dan ganggang akibat proses eutrofikasi.

d. Fosfat

Fosfat merupakan unsur yang penting bagi kehidupan. Di perairan, fosfat penting sebagai unsur nutrisi bagi organisme air, namun bila konsentrasi fosfat dalam perairan besar akan menyebabkan dampak seperti menyebabkan proses eutrofikasi yang dapat menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut di perairan.

2.1.2.3 Parameter Biokimia

a. Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) didefinisikan sebagai jumlah milligram oksigen yang terlarut dalam air atau air limbah yang dinyatakan dengan mg O₂/L (Sawyer, 2003). DO dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Kandungan DO minimum adalah 2 ppm (mg/l) dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun. Kandungan oksigen terlarut minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme. Idealnya, kandungan oksigen terlarut tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan sebesar 70% (Huet, 1970).

b. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi. Parameter BOD, secara umum banyak dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan. Penentuan BOD sangat penting untuk menelusuri aliran pencemaran dari tingkat hulu ke muara. Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut. Konsumsi oksigen tinggi yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa O_2 terlarut, maka berarti kandungan bahan-bahan buangan tersebut membutuhkan oksigen yang tinggi (Fardiaz, 1992).

c. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 L sampel air, dimana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Besarnya angka COD tersebut menunjukkan bahwa keberadaan zat organik di air berada dalam jumlah yang besar. Organik-organik tersebut mengubah oksigen menjadi karbondioksida dan air sehingga perairan tersebut menjadi kekurangan oksigen. Hal inilah yang menjadi indikator seberapa besar pencemaran di dalam limbah cair oleh pembuangan domestik dan industri. Semakin sedikit kadar oksigen di dalam air berarti semakin besar jumlah pencemar (organik) di dalam perairan tersebut.

2.1.2.4 Parameter Biologis

Parameter biologis ditandai dengan adanya bioindikator pencemaran seperti koliform di dalam perairan. Koliform dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu koliform lingkungan dan fekal. Adanya koliform fekal pada perairan mengindikasikan bahwa perairan tersebut telah tercemar feses baik yang berasal

dari kotoran manusia maupun hewan. Salah satu contoh koliform fekal yang pada umumnya dijadikan bioindikator adalah bakteri E.coli.

2.1.3 Kualitas Limbah

Kualitas limbah menunjukkan spesifikasi limbah yang diukur dari kandungan pencemar dalam limbah. Kandungan pencemar dalam limbah terdiri dari berbagai parameter. Semakin sedikit jumlah parameter pencemar serta konsentrasi pencemar menunjukkan peluang pencemaran terhadap lingkungan semakin kecil.

Kualitas limbah dipengaruhi berbagai faktor yaitu volume limbah, konsentrasi bahan pencemar, serta frekuensi pembuangan limbah. Penetapan standar kualitas limbah harus dihubungkan dengan kualitas lingkungan. Kualitas lingkungan dipengaruhi berbagai komponen yang ada dalam lingkungan itu seperti kualitas air, kepadatan penduduk, flora dan fauna, kesuburan tanah, tumbuh-tumbuhan dan lain-lain.

Apabila limbah masuk ke dalam lingkungan, ada beberapa kemungkinan yang terjadi. Kemungkinan pertama yaitu lingkungan tidak mendapat pengaruh yang berarti karena volume, konsentrasi limbah kecil, serta parameter pencemar yang terdapat di dalam limbah jumlahnya sedikit. Kemungkinan kedua, ada pengaruh perubahan tapi tidak menyebabkan pencemaran. Kemungkinan ketiga, memberi perubahan dan menimbulkan pencemaran.

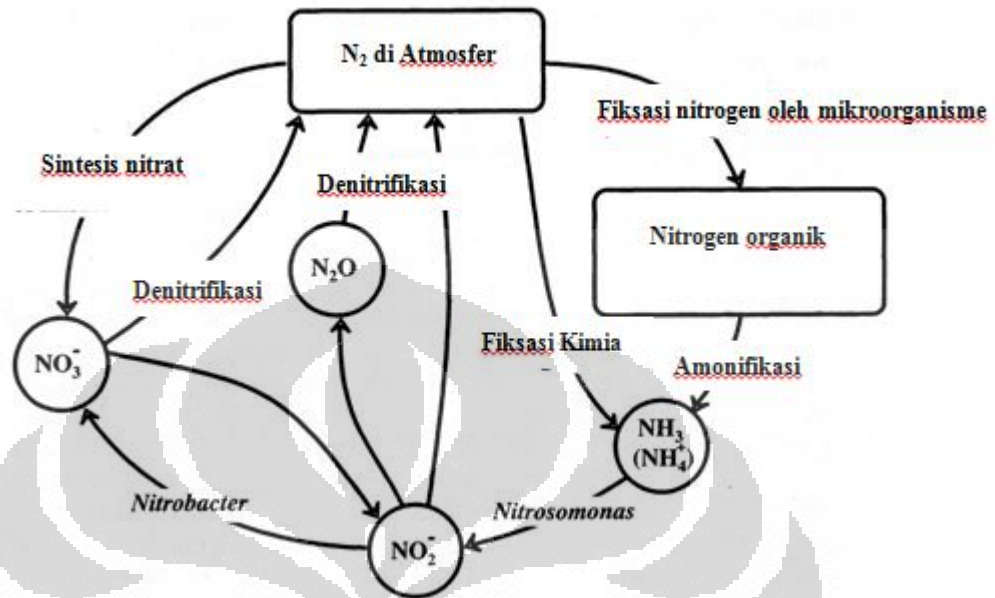
Adanya perubahan konsentrasi limbah menyebabkan terjadinya perubahan keadaan badan penerima. Semakin lama badan penerima menerima buangan limbah, semakin tinggi pula konsentrasi bahan pencemar di dalamnya. Hal yang dapat terjadi ialah keadaan dimana badan penerima tidak mampu lagi memulihkan keadaannya seperti semula karena pengaruh zat-zat pencemar yang masuk sudah terlalu banyak. Oleh karena itu, diperlukan batasan-batasan konsentrasi yang disebut dengan standar kualitas limbah atau baku mutu air limbah yang dibuang ke badan penerima.

2.2 Nitrogen

Nitrogen adalah salah satu unsur yang paling melimpah di biosfer bumi dan merupakan bagian dari enam elemen (C, H, O, N, P, dan S) unsur utama dari jaringan hidup. Kandungan gas nitrogen (N_2) di atmosfer bumi kurang lebih sekitar 78%, namun dari jumlah tersebut sebagian besar tidak dapat digunakan sebagai sumber nitrogen untuk makhluk hidup. Akibatnya keberadaan nitrogen yang dibutuhkan di ekosistem sangat tergantung dari input nitrogen yang tersedia secara biologis. Nitrogen yang dapat dikonsumsi tersebut berasal dari sumber eksternal atau internal dari siklus senyawa nitrogen yang berubah menjadi bentuk yang dapat digunakan secara biologis. Tetapi kelebihan kandungan nitrogen dapat menyebabkan efek merugikan. Sebagai contoh kelebihan nitrogen atau nitrogen yang jenuh dapat mengakibatkan penurunan nutrisi serta meningkatkan derajat keasaman tanah dan air dalam ekosistem hutan. Dalam ekosistem perairan, nitrogen yang berlebih dapat mengakibatkan eutrofikasi dan meningkatkan jumlah amonia (NH_3), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-) yang bersifat racun bagi manusia, ternak, dan satwa liar (Cairns *et al.*, 1990).

Untuk lebih memahami efek yang ditimbulkan oleh nitrogen pada sistem biologis, sangat penting untuk mengetahui bagaimana perubahan yang dialami oleh unsur nitrogen menjadi senyawa lain beserta faktor apa saja yang mempengaruhi perubahan bentuk nitrogen tersebut. Siklus nitrogen merupakan suatu proses yang kompleks dan terdiri dari berbagai perubahan bentuk. Meskipun siklus tersebut terdiri dari beberapa perubahan senyawa abiotik seperti oksidasi nitrogen menjadi amonia, beberapa perubahan terjadi pada senyawa biotik yang berpengaruh langsung pada aktivitas mikroorganisme.

2.2.1 Siklus Nitrogen

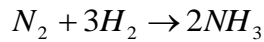


Gambar 2.1. Siklus Nitrogen
(Sawyer, 2003)

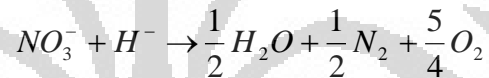
Siklus nitrogen mulanya dimuai dari elemen nitrogen di udara. N₂O ditemukan di udara sebagai hasil reaksi dengan oksigen. Nitrogen hanya akan bereaksi dengan oksigen pada suhu dan tekanan tinggi yang biasanya ditemukan dalam proses pembakaran. Namun tidak menutup kemungkinan nitrogen dioksida bereaksi dengan air di atmosfer sehingga membentuk asam nitrat. Nitrat yang berasal dari pembentukan asam nitrat dapat digunakan oleh tanaman sebagai sumber nutrisi.

Pada perairan, ditemukan nitrogen dalam bentuk nitrogen organik, amonia, amonium, nitrit, nitrat, dan gas N₂. Pertama nitrogen organik yang terdapat pada perairan dapat berasal dari aktivitas manusia, serta gas N₂ pada atmosfer yang mengalami fiksasi oleh mikroorganism seperti *cyanobacteria*. Nitrogen organik mengalami perubahan pada pH rendah menjadi amonium, sedangkan bila lingkungan perairan memiliki pH yang tinggi, nitrogen organik berubah menjadi amonia. Gas N₂ pada atmosfer dapat mengalami fiksasi secara

kimia sehingga membentuk amonia atau ion amonium pada air. Reaksi fiksasi nitrogen sebagai berikut.



Selanjutnya jika kondisi lingkungan memungkinkan seperti ketersediaan oksigen terlarut dalam perairan mencukupi, amonia akan berubah menjadi nitrat yang disebut dengan nitrifikasi. Nitrifikasi dapat direpresentasikan kedalam beberapa tahapan reaksi. Reaksi pertama, bakteri yang digolongkan ke dalam genus *Nitrosomonas* mengubah ion amonia (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-) pada pH rendah. Reaksi kedua yaitu bakteri dengan golongan genus *Nitrobacter* mengubah nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-). Jika oksigen terlarut dalam perairan rendah, nitrat akan mengalami reduksi menjadi nitrit dan gas N_2 . Proses ini disebut dengan denitrifikasi. Denitrifikasi juga terjadi saat reduksi nitrit oleh bakteri dan menghasilkan N_2O pada atmosfer yang selanjutnya akan berubah menjadi gas N_2 pada proses fotolisis (Sawyer, 2003). Denitrifikasi berlangsung pada kondisi anaerob dengan reaksi berikut (Novotny dan Olem, 1994).



2.2.2 Nitrogen Dalam Air

Nitrogen pada air dapat ditemukan dalam bentuk amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), dan molekul nitrogen (N_2) dalam bentuk gas.

a. Nitrogen Organik

Nitrogen organik merupakan bentuk nitrogen yang terikat senyawa organik. Senyawa ini mencakup protein, polipeptida, asam amino, urea, dan senyawa lainnya. Sumber nitrogen organik di perairan berasal dari fiksasi nitrogen dan proses pembusukan makhluk hidup yang telah mati. Sedangkan sumber antropogenik nitrogen organik berasal dari tempat pembuangan akhir, limbah industri, dan limpasan dari daerah pertanian terutama urea.

b. Amonia (NH_3)

Amonia (NH_3) merupakan salah satu senyawa nitrogen yang bersumber dari oksidasi zat organik dan mikrobiologis yang berasal dari alam, air buangan industri, dan penduduk. Pada cairan, amonia terdapat dalam 2 bentuk yaitu amonia bebas atau tidak terionisasi (NH_3) dan dalam bentuk ion amonia (NH_4^+). Perbandingan amonia dalam kedua bentuk tersebut sangat dipengaruhi oleh nilai pH dan suhu. Sebagai contoh pada pH 9, sekitar setengah dari total amonia terdapat dalam bentuk tidak terionisasi. Amonia (NH_3) dan garam-garamnya bersifat mudah larut dalam air. Ion amonium adalah bentuk transisi dari amonia. Konsentrasi amonia bebas pada perairan di atas 0,2 mg/L dapat menyebabkan kematian pada beberapa spesies ikan (Sawyer, 2003). Untuk faktor keamanan, amonia bebas pada air tidak boleh melebihi 0,02 mg/L (Committee on Water Quality Criteria, 1972). Amonia banyak digunakan dalam proses produksi urea, industri bahan kimia, serta industri bubur kertas dan kertas. Sumber amonia di perairan adalah pemecahan nitrogen organik dan nitrogen anorganik yang berasal dari dekomposisi bahan organik, mikroba, dan jamur (Effendi, 2003).

c. Nitrit (NO_2)

Nitrit merupakan bentuk nitrogen yang teroksidasi dengan tingkat oksidasi +3. Di perairan, nitrit ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit bahkan lebih sedikit dari nitrat karena bersifat tidak stabil dengan keberadaan oksigen. Oleh sebab itu, perairan alami mengandung nitrit sekitar 0,001 mg/L. Nitrit juga merupakan keadaan sementara proses oksidasi antara amonia dan nitrat yang dapat terjadi pada instalasi pengolahan air buangan, air sungai, drainase, dan lainnya. Kadar nitrit di perairan alami sekitar 0,001 mg/L dan sebaiknya tidak melebihi 0,06 mg/L (Canadian Council of Resource and Environment Ministers, 1987). Nitrit sendiri membahayakan kesehatan karena dapat bereaksi dengan hemoglobin dalam darah hingga darah tidak dapat mengikat oksigen. Disamping ini, nitrit juga menimbulkan nitrosamine pada air buangan tertentu yang dapat menyebabkan kanker.

d. Nitrat (NO_3)

Nitrat merupakan bentuk nitrogen yang teroksidasi dengan tingkat oksidasi +5. Senyawa ini lebih stabil daripada nitrit dan merupakan salah satu unsur penting untuk sintesa protein untuk tumbuhan serta hewan. Akan tetapi nitrat pada konsentrasi yang tinggi dapat menstimulasi pertumbuhan ganggang yang tidak terbatas dengan catatan perbandingan dengan fosfat terpenuhi sehingga oksigen terlarut pada air berkurang. Kadar nitrogen yang melebihi 0,2 mg/L menggambarkan terjadinya eutrofikasi perairan (The Ashepoo-Combahee-Edisto Basin). Nitrat adalah bentuk nitrogen sebagai nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Konsentrasi nitrat secara alamiah biasanya rendah, namun konsentrasi dapat menjadi tinggi pada air tanah di daerah yang diberi pupuk mengandung nitrat.

e. Molekul nitrogen (N_2)

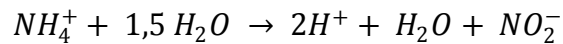
N_2 merupakan nitrogen yang berwujud gas dan merupakan hasil suatu reaksi yang sulit untuk bereaksi kembali. N_2 lenyap dari larutan sebagai gelembung gas karena kadar kejenuhan yang rendah. Namun gas N_2 tetap dapat diserap oleh air dan udara serta digunakan oleh ganggang dan beberapa jenis bakteri untuk pertumbuhannya.

2.2.3 Nitrogen Sebagai Parameter Pencemar Air

2.2.3.1 Nitrifikasi

Nitrogen dalam perairan dapat pecah menjadi dua senyawa yaitu senyawa amonia dan senyawa nitrogen organik seperti protein, urea, dan lain-lain. Pada waktu yang bersamaan, nitrogen organik mengalami proses hidrolisis untuk menghasilkan senyawa amonia tambahan. Selanjutnya bakteri autotrofik mengasimilasi amonia dan mengubahnya menjadi nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-).

Proses perubahan amonia menjadi nitrat disebut dengan nitrifikasi (Chapra, 1997). Nitrifikasi dapat direpresentasikan kedalam beberapa tahapan reaksi (Gaudy dan Gaudy, 1980). Reaksi pertama, bakteri yang digolongkan ke dalam genus *Nitrosomonas* mengubah ion amonia (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-). Selain itu genus lain seperti *Nitrosococcus* dan *Nitrospira* dan subgenus seperti *Nitrosolobus* dan *Nitrosovibrio* dapat mengoksidasi amonia.



Reaksi kedua yaitu bakteri dengan golongan genus *Nitrobacter* mengubah nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-). Namun genus lain seperti *Nitrospina*, *Nitrococcus*, dan *Nitrospira* dapat juga mengoksidasi nitrit.



Kedua kelompok bakteri nitrifikasi sebagian besar kemoautotrofik yang berarti menghasilkan karbon organik sendiri untuk pernapasan dan menggunakan bahan kimia anorganik sebagai sumber energi. Beberapa kelompok bakteri heterotrofik dan jamur dapat berpartisipasi di dalam proses nitrifikasi meskipun rasio kecepataannya lebih rendah dari organisme autotrofik. Namun rasio kecepatan pertumbuhan bakteri autotrofik pada umumnya lebih lambat daripada bakteri heterotrofik.

Laju perubahan nitrit menjadi nitrat lebih besar daripada laju perubahan amonia menjadi nitrit. Faktanya, pada proses perubahan nitrit menjadi nitrat membutuhkan jumlah oksigen tiga kali lebih banyak dibandingkan pada saat perubahan amonia menjadi nitrit. Berikut ini jumlah oksigen yang dibutuhkan pada kedua tahap tersebut ialah:

$$r_{oa} = \frac{1,5(32)}{14} = 3,43 \text{ gO gN}^{-1}$$

$$r_{oi} = \frac{0,5(32)}{14} = 1,14 \text{ gO gN}^{-1}$$

dimana r_{oa} adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengubah nitrit menjadi nitrat sedangkan r_{oi} untuk mengubah amonia menjadi nitrit. Sehingga jumlah oksigen yang dibutuhkan pada saat proses nitrifikasi adalah sebagai berikut:

$$r_{on} = r_{oa} + r_{oi} = 4,57 \text{ gO gN}^{-1}$$

dimana r_{on} adalah jumlah oksigen yang dikonsumsi untuk setiap unit massa nitrogen yang dioksidasi pada proses nitrifikasi. Dengan catatan bahwa beberapa jumlah amonia akan digunakan oleh bakteri untuk memproduksi selnya. Gaudy dan Gaudy (1980) memperkirakan bahwa jumlah oksigen yang dibutuhkan yaitu 4,2 gram untuk setiap 1 gram nitrogen yang dioksidasi.

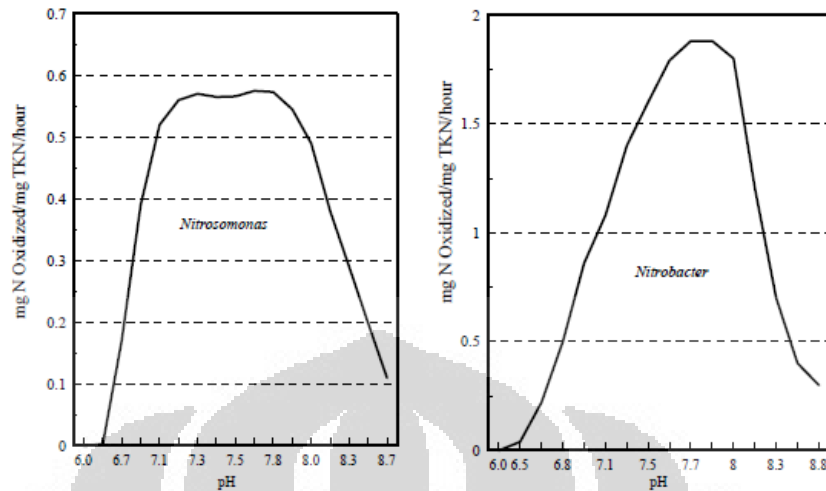
Proses nitrifikasi bergantung pada beberapa faktor disamping kehadiran jumlah amonia. Faktor-faktor yang mempengaruhi berlangsungnya proses nitrifikasi adalah sebagai berikut:

a. Keberadaan jumlah bakteri

Jumlah bakteri yang berperan dalam proses nitrifikasi harus mencukupi agar proses nitrifikasi berlangsung dengan cepat. Bakteri tersebut merupakan organisme yang memiliki kecepatan pertumbuhan yang lambat dan nitrifikasi biasanya terjadi di permukaan air yang luas serta aliran air yang lambat.

b. pH dan alkalinitas

pH merupakan logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen. pH air merupakan faktor penting pada proses nitrifikasi. Pertama, pengurangan kadar total alkalinitas bersamaan dengan berlangsungnya proses nitrifikasi karena jumlah yang signifikan dari bikarbonat dikonsumsi pada proses perubahan amonia menjadi nitrit. Alkalinitas adalah gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam atau dikenal dengan sebutan *Acid Neutralizing Capacity* (ANC) atau kuantitas anion di dalam air yang dapat menetralkan kation hidrogen (Sawyer, 2003). Model yang dilakukan oleh Gujer dan Jenkins (1974) mengindikasikan bahwa 8,64 mg/L bikarbonat (HCO_3^-) digunakan untuk setiap mg/l amonia yang dioksidasi. Sementara penurunan jumlah alkalinitas tidak berdampak langsung pada kesehatan masyarakat, namun berdampak pada penurunan kapasitas penyangga dalam air yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pH sehingga menyebabkan pH air menjadi turun. Kedua, bakteri yang berperan dalam proses nitrifikasi sangat sensitif pada beberapa kondisi pH seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2. Efek pH pada pertumbuhan *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*
(Grady and Lim, 1980)

Nitrosomonas memiliki pH optimum yang berkisar antara 7 hingga 8. Sedangkan *Nitrobacter* memiliki pH optimum yang berkisar antara 7,5 hingga 8. Beberapa penelitian mengatakan bahwa untuk menurunkan nitrifikasi, pH air dapat ditingkatkan menjadi 9 (Skadsen *et al.*, 1996). Bagaimanapun banyak faktor yang berperan dalam kelangsungan hidup bakteri-bakteri tersebut, dan berdasarkan observasi proses nitrifikasi dapat berlangsung pada pH yang berkisar antara 6,6 hingga 9,7.

c. Kandungan oksigen terlarut

Keberadaan *Dissolved Oxygen* (DO) atau oksigen terlarut harus mencukupi karena nitrifikasi membutuhkan oksigen. Oksigen terlarut yang terkandung dalam air harus lebih besar dari 2 mg/L^{-1} (Chapra, 1997).

d. Temperatur

Temperatur air memiliki efek yang kuat untuk pertumbuhan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Beberapa penelitian mendokumentasikan bahwa proses nitrifikasi pada umumnya terjadi pada temperatur yang berkisar antara 25°C hingga 30°C (Waterbury *et al.*, 1981). Tetapi nitrifikasi juga dapat terjadi pada temperatur yang berkisar antara 8°C hingga 26°C .

e. Cahaya Matahari

Monokloramin akan berkurang jumlahnya ketika mengalami kontak langsung dengan atmosfer yang bergantung pada jumlah sinar matahari, angin, serta temperatur, sehingga senyawa yang membantu dalam proses nitrifikasi sangat sensitif dengan keberadaan sinar UV, cahaya matahari.

Pengetahuan tentang faktor-faktor yang dapat mempercepat laju nitrifikasi memiliki tujuan agar diketahui cara untuk menghambat proses nitrifikasi secara cepat. Pada titik hilir dari sumber, kandungan oksigen dan nilai pH menurun karena proses nitrifikasi yang dibagi ke dalam dua tahap yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit dan oksidasi nitrit menjadi nitrat membutuhkan oksigen terlarut yang besar. Oksigen yang dibutuhkan untuk nitrifikasi pada umumnya lebih besar pada bagian hilir daripada oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi organik karbon. Konsumsi oksigen tersebut dapat menurunkan bahkan menghabiskan kandungan oksigen dalam perairan. Jika kondisi tersebut berubah menjadi anaerobik, nitrat dapat berubah menjadi nitrit dan nitrit kemudian berubah kembali menjadi nitrogen bebas. Proses ini disebut dengan denitrifikasi. Karena nitrogen bebas tersebut berada dalam bentuk gas, mekanisme tersebut menyebabkan gas nitrogen menuju atmosfer.

U.S. EPA (2002) memaparkan juga efek dari nitrifikasi yang terjadi pada perairan yaitu sebagai berikut:

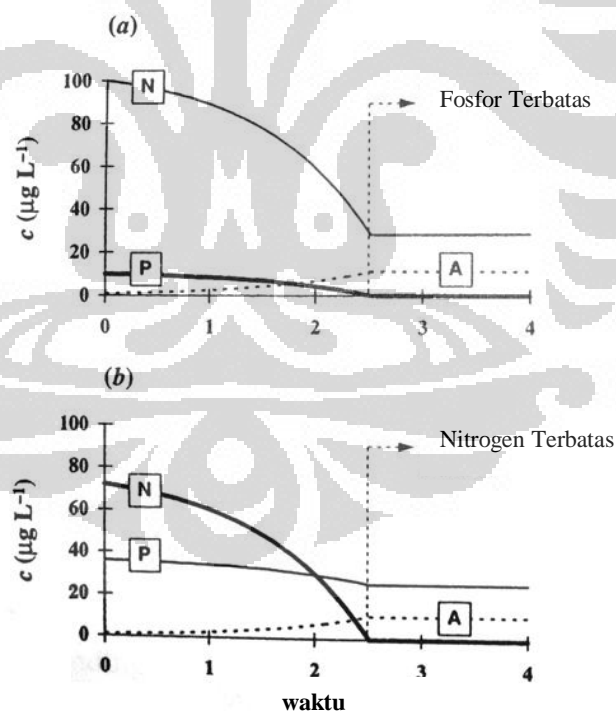
Tabel 2.1. Efek Nitrifikasi

Efek Kimia	Efek Biologis
Penurunan zat desinfektan	Meningkatkan HPC
Penambahan senyawa nitrit dan nitrat	Meningkatkan <i>Amonia Oxidizing Bacteria</i> (AOB)
Penurunan konsentrasi oksigen terlarut	Meningkatkan <i>Nitrite Oxidizing Bacteria</i> (NOB)
Penurunan pH dan alkalinitas	

Sumber: U.S. *Environmental Protection Agency*, 2002

Eutrofikasi adalah pencemaran terhadap air yang terjadi karena terakumulasinya nutrisi atau unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan secara berlebihan di dalam ekosistem air (Frithsen, 1989). Eutrofikasi merupakan proses alamiah dan dapat terjadi pada berbagai perairan, tetapi bila terjadi kontaminasi bahan-bahan nitrat dan fosfat akibat aktivitas manusia dan berlangsung terus menerus, maka proses eutrofikasi akan lebih meningkat.

Pada proses pengontrolan eutrofikasi, penting untuk mengidentifikasi nutrisi yang paling berperan sebagai nutrisi bagi pertumbuhan tanaman di perairan. Nutrisi yang paling berperan adalah nitrogen dan fosfat. Rasio nitrogen dengan fosfat pada biomassa berkisar antara 7,2. Pada air bersih, rasio nitrogen dengan fosfat dibawah 7,2 sehingga konsentrasi fosfat yang berlebih akan menghambat pertumbuhan tanaman. Hal yang perlu dilakukan adalah mengatur agar rasio nitrogen dan fosfat tidak mendekati nilai 7,2. Ilustrasi dari penjelasan tersebut dapat dilihat dari grafik dibawah ini.



Gambar 2.3. (a) Keterbatasan Fosfor (b) Keterbatasan Nitrogen
(Chapra,1997)

Pada ilustrasi (a), rasio nitrogen dengan fosfat pada perairan bernilai 10. Unsur fosfat akan habis terlebih dahulu pada waktu 2,5 hari. Pada waktu ini pertumbuhan alga akan terhenti dan sisa nitrogen yang berlebihan akan tertinggal di perairan. Begitu pula halnya dengan ilustrasi (b) yang menggambarkan rasio nitrogen dengan fosfat kurang dari 7,2 sehingga saat unsur nitrogen habis terlebih dahulu, pertumbuhan alga akan terhenti dan sisa kelebihan fosfat tertinggal di perairan.

Pada sebagian besar danau, fosfat menjadi faktor pembatas karena keberadaannya yang relatif sedikit dibandingkan dengan banyaknya organisme perairan yang membutuhkannya. Peningkatan kandungan fosfat akan mengakibatkan peningkatan produktivitas perairan. Pada perairan laut, biasanya nitrogen yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan.

Di wilayah perkotaan, sumber unsur hara berasal dari industri dan domestik. Detergen merupakan sumber utama penyebab peningkatan fosfat dalam perairan. Pada wilayah pedesaan, sumber utama penyebab meningkatnya kadar fosfat dan nitrogen berasal dari kegiatan pertanian yang menggunakan pupuk dalam jumlah besar.

Kondisi eutrofik sangat memungkinkan alga dan tumbuhan air berukuran mikro untuk tumbuh berkembang biak dengan pesat (*blooming*) akibat ketersediaan fosfat dan nitrogen yang berlebihan serta kondisi lain yang memadai. Hal ini bisa dikenali dengan warna air yang menjadi kehijauan, berbau tak sedap, dan kekeruhan air yang semakin meningkat. Banyaknya eceng gondok yang bertebaran di rawa-rawa dan danau-danau juga disebabkan fosfat yang sangat berlebihan ini. Akibatnya, kualitas air di beberapa ekosistem air menjadi sangat menurun. Rendahnya konsentrasi oksigen terlarut bahkan sampai batas nol menyebabkan makhluk hidup air seperti ikan dan spesies lainnya tidak bisa tumbuh dengan baik sehingga akhirnya mati. Hilangnya ikan dan hewan lainnya dalam mata rantai ekosistem air menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem air. Permasalahan lainnya yaitu *Cyanobacteria* (*blue-green algae*) diketahui mengandung toksin sehingga membawa resiko kesehatan bagi manusia dan hewan. *Alga bloom* juga menyebabkan hilangnya nilai konservasi, estetika,

rekreasi, dan pariwisata sehingga dibutuhkan biaya sosial dan ekonomi yang tidak sedikit untuk mengatasinya.

2.2.3.2 Ammonia Toxicity

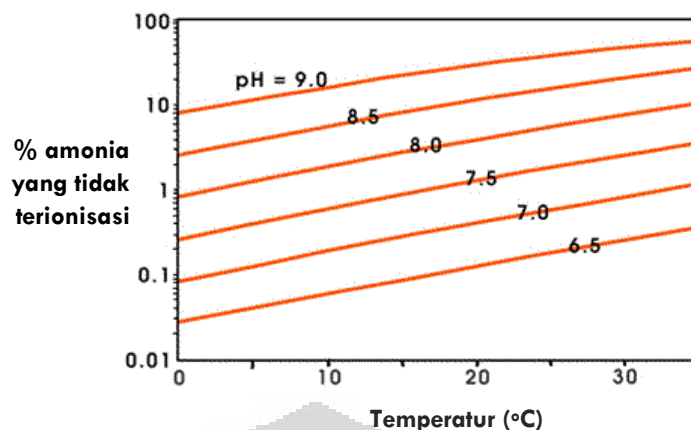
Keberadaan amonia pada perairan ditemukan dalam dua bentuk yaitu ion amonia (NH_4^+) dan gas amonia (NH_3). Dimana bentuk yang tidak terionisasi menyebabkan racun pada makhluk hidup di perairan seperti ikan. Hal ini disebut dengan *amonia toxicity*. Hubungan kesetimbangan antara kedua bentuk tersebut dihubungkan dengan pH. Jumlah dari ion amonia dan gas amonia dapat direpresentasikan dengan reaksi sebagai berikut.



dimana rasio dari reaktan untuk menghasilkan produk dispesifikasikan kedalam koefisien sebagai berikut:

$$K = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

Pada pH dan temperatur yang tinggi, amonia hadir dalam bentuk tidak terionisasi. Seperti contoh, pada temperatur ruangan sekitar 20°C dan pH diatas 9, sekitar 20% total amonia merupakan bentuk yang tidak terionisasi. Keadaan tersebut dapat terjadi pada zona pemulihan pada *secondary sewage* yang dibuang menuju perairan. Kasus tersebut menyebabkan TSS (*Total Suspended Solid*) rendah dan amonia yang tinggi yang menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman. Pada sore hari, tanaman akan menyerap karbondioksida dari air dan pada perairan yang memiliki kapasitas penyangga yang kecil mendorong peningkatan nilai pH. Menjelang malam hari, ketika temperatur air meningkat dan pH yang tinggi menyebabkan kondisi yang paling memungkinkan terbentuknya amonia yang tidak terionisasi. Hubungan antara pH, temperatur, serta konsentrasi amonia yang tidak terionisasi dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 2.4. Hubungan antara pH, temperatur, serta konsentrasi amonia (Chapra, 1997)

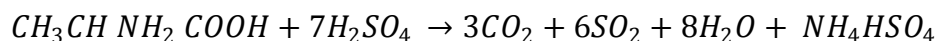
Sedangkan bila dihubungkan dengan waktu, nilai pH akan meningkat menjelang malam hari.

2.2.4 Metode Pengukuran Total Nitrogen

Total nitrogen dapat diukur dengan Metode Kjeldahl. Metode Kjeldahl adalah metode yang terdiri dari pemanasan asam sulfat yang akan mendekomposisi material organik secara oksidasi dan mengubahnya menjadi amonia (Cohen, 1910).

Analisa Kjeldahl pada umumnya hanya dilaksanakan pada sampel air yang diduga mengandung zat organik seperti air buangan penduduk, bermacam jenis air buangan industri, dan air sungai. Zat organik yang mengandung nitrogen diubah menjadi amonium, kemudian amonium yang terbentuk dianalisa dengan N-amonium.

Nitrogen amino dalam zat organis akan menjadi amonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ setelah pemanasan sampel di dalam larutan asam H_2SO_4 sesuai reaksi :



Zat organik tersebut berubah menjadi CO_2 dan H_2O serta melepaskan amonia dalam suasana asam kuat terikat menjadi amonia sulfat. Kemudian tambahan NaOH akan melepaskan amonia tersebut sekaligus mengubahnya

sampai menjadi amonium. Seluruh amonium tersebut serta sedikit air dapat didestilasi dari sampel.

Akhirnya amonium yang terlarut pada asam sulfat tersebut ditentukan melalui spektrofotometer. Namun Analisa Kjeldahl memiliki kelemahan diantaranya tidak dapat mengubah komponen-komponen nitrogen yang berasal dari buangan industri seperti amin, komponen nitro, hidrazon, dan lain-lain. Selain itu, klor aktif yang terkandung pada sampel dapat mengikat NH_3 bebas. Tetapi gangguan tersebut dapat dihilangkan dengan penambahan zat pereduksi seperti $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Untuk pemeriksaan amonium selanjutnya akan dibaca pada spektrofotometer dengan Metode Nessler. Metode Nessler yaitu metode analisa amonium dengan menambah reagen Nessler kedalam sampel yang dicampurkan dengan larutan garam maka akan terbentuk warna kuning kecoklatan, dan warna inilah yang diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 425 nm.

Dalam analisis spektrofotometri digunakan suatu sumber radiasi yang menjorok ke dalam daerah ultraviolet spektrum itu. Dari spektrum ini, dipilih panjang-panjang gelombang tertentu dengan lebar pita kurang dari 1 nm. Instrumen yang digunakan untuk maksud ini adalah yang terdiri dari dua instrumen dalam satu kotak yaitu sebuah spektrometer dan sebuah fotometer. Bila digabung dalam spektrofotometer, spektrometer dan fotometer itu digunakan secara gabungan untuk menghasilkan suatu isyarat yang berpadan dengan selisih antara radiasi yang diteruskan oleh bahan pembanding dan radiasi yang diteruskan oleh contoh pada panjang-panjang gelombang yang terpilih (Vogel, 1994). Saat pengaplikasian dalam mengukur amonium, konsentrasi amonium disesuaikan agar terbaca pada alat spektrofotometer. Pada limbah yang pekat dibutuhkan proses pengenceran agar konsentrasi amonium terbaca.

Metode Kjeldahl banyak diterapkan untuk pemeriksaan nitrogen yang dicantumkan pada standar pemeriksaan air maupun air limbah seperti pada *Standard Method* dan *Japanese International Standard (JIS)*. Berdasarkan *Standard Method*, Metode Kjeldahl digunakan untuk pemeriksaan nitrogen organik ditambah dengan amonia/amonium. Sedangkan berdasarkan JIS, Metode Kjeldahl dapat digunakan sebagai metode pengukuran dari total nitrogen. Konsep

pengukuran total nitrogen berdasarkan JIS yaitu konsentrasi total nitrogen sebanding dengan nitrogen organik ditambah ion amonium dan sebanding pula dengan ion nitrit ditambah dengan ion nitrat. Prosedur pengukuran total nitrogen berdasarkan JIS terdapat pada lampiran 1. Sedangkan perhitungan total nitrogen sebagai berikut.

$$N = \left(a \times \frac{1000}{V} \times \frac{200}{25} \times 0,7766 \right) + \left(b \times \frac{1000}{V} \times \frac{200}{25} \times 0,7766 \right) \quad (2.2.1)$$

dimana :

- N : total nitrogen (mg-N/L)
 a : ion amonium yang diperoleh dari proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄⁺)
 b : ion amonium yang diperoleh tanpa proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄⁺)
 V : volume sampel (ml)
 1000 : konversi satuan ml menjadi L
 200/25 : faktor jumlah ion amonium pada blanko
 0,7766 : faktor konversi dari ion amonium menjadi nitrogen berdasarkan massa molekul relatifnya

2.3 Lindi Sebagai Limbah *Landfill*

2.3.1 Tinjauan Umum Lindi

Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan yang masuk ke dalam limbah padat pada tempat pembuangan akhir (TPA). Air tersebut dapat berasal dari aliran permukaan, hujan, air tanah, serta air yang dihasilkan dari dekomposisi limbah (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Bila disekitar TPA tersebut terdapat perairan maka tidak menutup kemungkinan jika air lindi tersebut akan mencemari lingkungan perairan.

2.3.2 Komposisi Lindi

Komposisi pada lindi dapat berbeda-beda sesuai dengan karakteristik sampah yang bereaksi dengan air. Selain itu umur dari tempat pembuangan akhir yang diolah secara *landfill* mempengaruhi konsentrasi kandungan zat organik dan

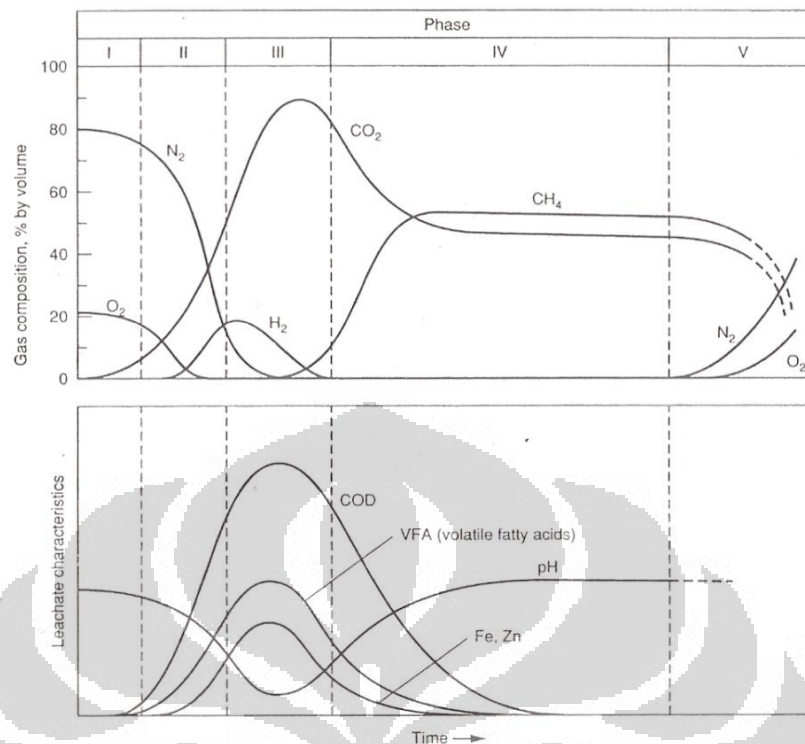
anorganik yang terkandung di dalamnya. Berikut ini merupakan komposisi dari lindi berdasarkan umur *landfill* adalah sebagai berikut.

Tabel 2.2. Komposisi lindi

Komposisi	TPA baru (< 2 tahun) mg/l	TPA lama (>10 tahun) mg/l
BOD ₅	2.000-3.000	100-200
<i>Total Organic Carbon</i> (TOC)	1.500-20.000	80-160
COD	3.000-60.000	100-500
TSS	200-2000	100-400
Nitrogen Organik	10-800	80-120
Amonia	10-800	20-40
Nitrat	5-40	5-10
Total Fosfat	5-100	5-10
Ortofosfat	4-80	4-8
Alkalinitas (CaCO ₃)	1.000-10.000	200-1000
Kesadahan (CaCO ₃)	3.00-10.000	100-400

Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993

Komposisi kimia dari lindi sangat bervariasi tergantung dari umur *landfill* atau tempat pembuangan akhir (TPA) dan kondisi pengambilan sampel dari lindi itu sendiri. Sebagai contoh, jika sampel lindi diambil pada saat fase dekomposisi, pH lindi menjadi rendah sedangkan konsentrasi BOD₅, TOC, COD, dan logam berat tinggi. Sebaliknya, jika sampel lindi diambil pada saat fase fermentasi metana, pH lindi berkisar antara 6,5-7,5 dan konsentrasi BOD₅, TOC, COD serta logam berat menurun. Konsentrasi logam berat menurun karena pada umumnya hanya sedikit logam berat yang larut pada pH netral. pH lindi tidak hanya bergantung pada kondisi asam pada *landfill*, namun dipengaruhi juga oleh tekanan parsial gas karbondioksida (CO₂) yang mengalami kontak dengan lindi. Berikut ini merupakan grafik fase komposisi gas dan lindi dari timbulan sampah berdasarkan perubahan waktu :



Gambar 2.5. Komposisi gas dan lindi *landfill* berdasarkan perubahan waktu

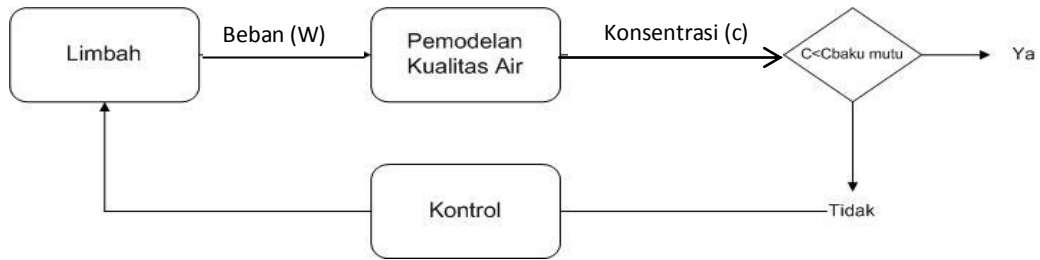
(Tchobanoglous *et al.*, 1993)

Biodegradabilitas lindi bervariasi tergantung waktu. Perubahan biodegradabilitas lindi dapat dipantau dengan memeriksa perbandingan konsentrasi antara BOD dengan COD. Rasio perbandingan BOD dan COD yang berkisar antara 0,4 hingga 0,6 mengindikasikan bahwa material organik pada lindi siap untuk terurai. Pada *landfill* lama, rasio BOD dengan COD turun berkisar antara 0,05 hingga 0,2. Hal ini disebabkan komposisi *landfill* lama pada umumnya mengandung *humic* dan *fulvic acid* yang tidak dapat diuraikan (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

2.4 Pemodelan Kualitas Air Permukaan

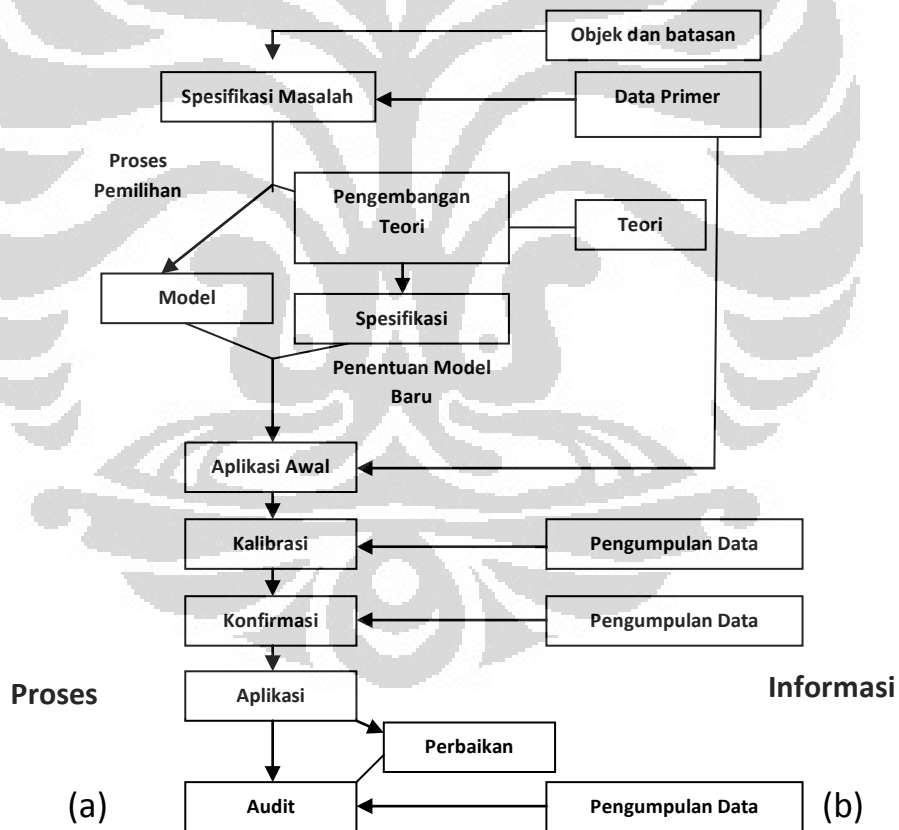
2.4.1 Tinjauan Umum

Pemodelan kualitas air permukaan bertujuan untuk mempermudah menganalisa permasalahan lingkungan yang ada. Saat ini pemodelan kualitas air digunakan sebagai salah satu dari rangkaian proses manajemen lingkungan. Berikut ini merupakan salah satu aplikasi dari pemodelan dalam proses manajemen kualitas air.



Gambar 2.6. Proses manajemen kualitas air
(Chapra, 1997)

Sebelum pemodelan dapat dikembangkan pada keadaan yang sebenarnya, penting untuk menyesuaikan informasi realitas yang ada dengan teori, perhitungan matematis, dan komputer. Secara garis besar proses pemodelan kualitas air dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini :



Gambar 2.7. (a) Proses pemodelan kualitas air (b) Informasi yang dibutuhkan untuk keefektifan implementasi

(Chapra, 1997)

a. Mengidentifikasi masalah

Pengidentifikasian masalah merupakan hal yang penting dilakukan sebelum penentuan rumus yang akan digunakan dalam pemodelan. Perumusan masalah dapat dilakukan secara individu atau kelompok. Dua informasi penting yang dilakukan dalam tahap ini yaitu menentukan batasan masalah serta batasan-batasan yang akan digunakan dalam proses pemodelan. Kedua adalah mendapatkan data fisik, kimia, serta biologis badan air.

b. Pemilihan model

Pemodelan dapat dilakukan dengan menggunakan suatu perangkat lunak (*software*) atau *spreadsheet*. Hal pertama yang dilakukan adalah penelusuran tinjauan pustaka yang berkaitan dengan rumus pemodelan seperti variabel dan parameter. Ada kalanya permasalahan yang dihadapi terlalu rumit sehingga pemodelan yang akan dilakukan banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain. Oleh karena itu digunakan batasan-batasan untuk menyederhanakan masalah namun tetap mewakili dari permasalahan yang ada. Setelah menentukan variabel dan parameter secara spesifik melalui tinjauan pustaka dan tinjauan lapangan, hal yang selanjutnya adalah mentransformasikan rumus pemodelan kedalam komputer.

c. Aplikasi awal

Aplikasi awal dilakukan untuk melihat dan mengidentifikasi perbedaan antara teoritis dengan keadaan sebenarnya. Setelah itu dapat diketahui parameter mana yang sangat berpengaruh terhadap perbedaan hasil pemodelan dengan keadaan sebenarnya.

d. Kalibrasi model

Kalibrasi merupakan langkah pengujian model dengan tidak menggunakan data asli yang dipakai pada saat proses pembentukan model (Thomann, 1982). Kalibrasi model dilakukan untuk meminimalisasi hasil pemodelan dengan keadaan sebenarnya di segala kondisi. Seperti contoh jika model digunakan untuk menganalisa limbah cair yang dibuang ke badan air, model tersebut harus dapat digunakan pada debit yang kecil saat musim panas berlangsung.

e. Konfirmasi

Konfirmasi merupakan tahap dimana model yang telah dikalibrasi dapat diaplikasikan pada realita. Model yang telah dikalibrasi, dijalankan pada *spreadsheet* yang baru dengan parameter yang berbeda untuk setiap kondisi. Jika simulasi model yang telah dikalibrasi sesuai dengan data yang baru, maka model tersebut sudah dapat dikatakan sebagai alat prediksi yang efektif untuk berbagai macam kondisi.

f. Pemantauan dan pengaturan aplikasi

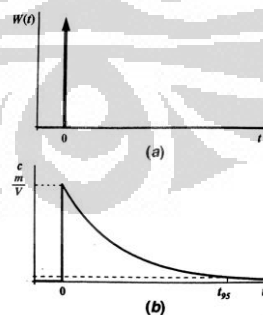
Pemantauan dari pengaplikasian model yang telah dibuat bertujuan untuk menyesuaikan model dengan kondisi yang baru. Seperti contoh pengembangan pengolahan limbah cair menggunakan aerasi. Model yang digunakan sebelumnya harus menambah parameter yang baru agar dapat menyesuaikan dengan kondisi sebenarnya.

2.4.2 Jenis Input Beban Pencemar

Input beban pencemar pada badan air dapat ditemukan dalam berbagai model, yaitu sebagai berikut:

a. Input impuls

Merupakan input beban pencemar yang pada umumnya dilakukan dengan waktu yang singkat. Berikut ini merupakan ilustrasi input beban pencemar jenis impuls beserta responnya di badan air.



Gambar 2.8 (a) Input limbah secara impuls (b) Respon dalam badan air

(Chapra,1997)

b. Input kontinu

Merupakan input beban pencemar yang dilakukan secara terus menerus namun dengan beban (W) yang konstan.

c. Input linear

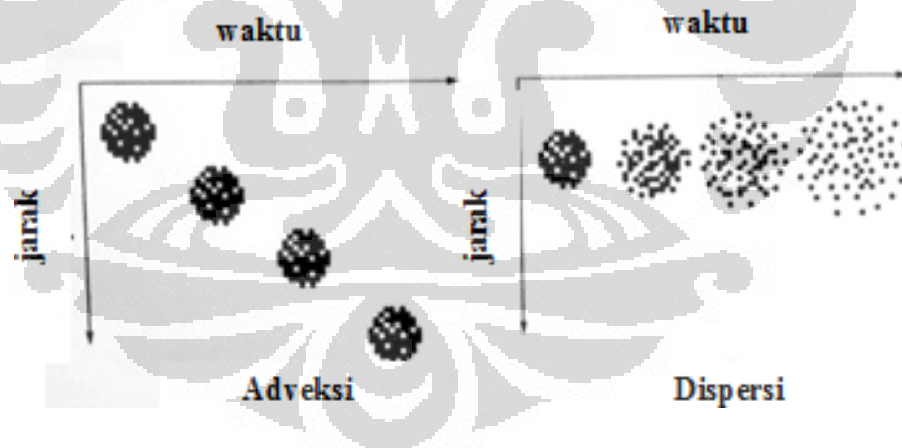
Merupakan input beban pencemar yang memiliki *loading* pencemar semakin besar seiring dengan perubahan waktu dengan perubahan yang konstan.

d. Input eksponensial

Merupakan input beban pencemar yang memiliki *loading* pencemar semakin kecil dengan laju perubahan yang konstan.

2.4.3 Pemodelan Kualitas Air Sungai

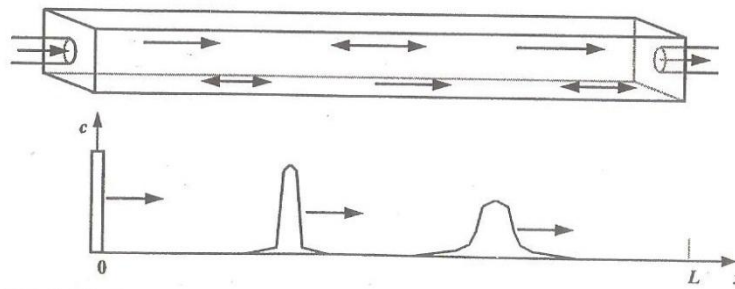
Pemodelan konsentrasi di sungai dapat dilakukan dengan pendekatan *Mixed-Flow Reactor* (MFR). MFR merupakan reaktor yang memperhitungkan terjadinya dispersi dan adveksi di dalam reaktor tersebut. Adveksi merupakan perpindahan suatu senyawa di air tanpa mengubah komposisi dari senyawa tersebut. Sedangkan dispersi merupakan perpindahan massa akibat pergerakan air. Jika digambarkan pada suatu dimensi ruang dan waktu, mekanisme adveksi dan dispersi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.9. Transportasi Senyawa pada Jarak dan Waktu Melalui Adveksi dan Dispersi

(Chapra,1997)

Pemodelan dalam badan sungai diibaratkan sebagai MFR seperti gambar di bawah ini:

Gambar 2.10. *Mixed Flow Reactor* (MFR)

(Chapra,1997)

Dalam MFR, fluks yang masuk ke dalam reaktor didefinisikan sebagai:

$$J_{in} = Uc - E \frac{\partial c}{\partial x} \quad (2.4.1)$$

nilai E merupakan turbulen dispersi dengan persamaan sebagai berikut (McQuivey dan Keefer,1974) :

$$E = 0,05937 \frac{Q}{SB} \quad (2.4.2)$$

dimana :

Q : debit sungai (m³/hari)

S : kemiringan sungai

B : lebar sungai (m)

Sedangkan fluks yang keluar dari dalam reaktor dapat ditulis berdasarkan Hukum Fick sebagai berikut:

$$J_{out} = U \left(c + \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x \right) - E \left[\frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \Delta x \right] \quad (2.4.3)$$

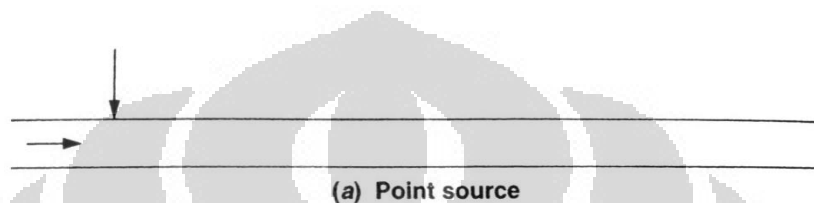
Dari persamaan fluks masuk dan keluar dari dalam reaktor, dapat ditentukan persamaan keseimbangan massa dari MFR yaitu sebagai berikut:

$$\Delta V \frac{dc}{dt} = UA_c c - UA_c \left(c + \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x \right) - EA_c \frac{\partial c}{\partial x} + EA_c \left[\frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \Delta x \right] - k \Delta V \bar{c} \quad (2.4.4)$$

Terdapat unsur yang dapat saling menghilangkan sehingga persamaan di atas ditulis :

$$\Delta V \frac{dc}{dt} = -UA_c \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + EA_c \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \Delta x - k\Delta V \bar{c} \quad (2.4.5)$$

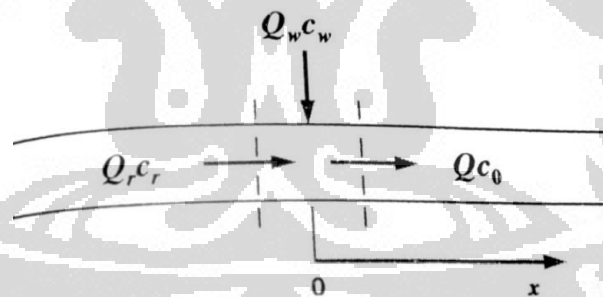
Persamaan diatas berlaku jika input satu titik yang masuk ke dalam sistem sesuai dengan gambar di bawah ini:



Gambar 2.11. Point source

(Chapra,1997)

Analisa konsentrasi awal untuk sumber titik (*point source*) yang masuk ke dalam sungai jika diasumsikan terjadi pencampuran sempurna dapat berdasarkan teori keseimbangan massa yaitu :



Gambar 2.12. Mass balance untuk input *point source* ke dalam sistem MFR

(Chapra,1997)

$$Q = Q_w + Q_r \quad (2.4.6)$$

$$0 = Q_w c_w + Q_r c_r - (Q_w + Q_r) c_0 \quad (2.4.7)$$

dimana :

Q_w : debit limbah (m^3/s)

Q_r : debit sungai awal (m^3/s)

Q : debit sungai akhir setelah masuknya limbah (m^3/s)

c_w : konsentrasi limbah (mg/l)

c_r : konsentrasi sungai awal (mg/l)

c_0 : konsentrasi sungai akhir setelah masuk limbah (mg/l)

Persamaan diatas ini diselesaikan menjadi:

$$c_0 = \frac{Q_w c_w + Q_r c_r}{Q_w + Q_r} \quad (2.4.8)$$

Mengingat $W = Q_w c_w$, maka:

$$c_0 = \frac{W + Q_r c_r}{Q_w + Q_r} \quad (2.4.9)$$

2.4.4 Koefisien Laju Reaksi

Koefisien laju reaksi kinetik dapat diekspresikan secara kuantitatif dengan hukum aksi massa yang menyatakan bahwa laju sebanding dengan konsentrasi reaktan. Laju ini dapat dinyatakan secara umum sebagai:

$$\frac{dc_A}{dt} = -kf(c_A, c_B, \dots) \quad (2.4.10)$$

Persamaan di atas sering disebut dengan hukum laju. Hukum ini menyatakan bahwa laju peluruhan bergantung dengan perkalian konstanta k yang dipengaruhi oleh temperatur dan fungsi konsentrasi reaktan $f(c_A, c_B, \dots)$. Fungsi konsentrasi reaktan biasanya didapatkan secara eksperimental, dengan bentuk umum sebagai berikut:

$$\frac{dc_A}{dt} = -k c_A^\alpha c_B^\beta \quad (2.4.11)$$

Kemampuan untuk meningkatkan konsentrasi reaktan disebut sebagai orde reaksi. Dalam persamaan di atas, α merupakan orde reaksi untuk reaktan A, dan β merupakan orde reaksi untuk reaktan B. Jumlah dari orde tersebut adalah:

$$n = \alpha + \beta \quad (2.4.12)$$

Bila perhitungan difokuskan pada satu konsentrasi reaktan, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\frac{dc}{dt} = -kc^n \quad (2.4.13)$$

dengan c adalah konsentrasi reaktan, dan n adalah orde reaksi.

Meskipun terdapat angka yang tidak terbatas untuk menggolongkan karakteristik reaksi, namun orde 0, 1, dan 2 merupakan orde yang pada umumnya terjadi pada air.

- Orde Nol

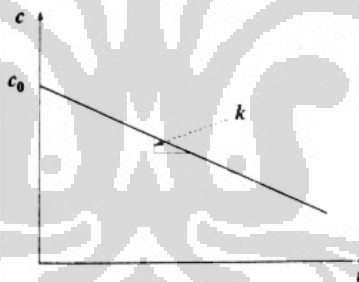
Jika model yang digunakan menggunakan orde nol maka reaksi berlangsung secara konstan terhadap perubahan waktu. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\frac{dc}{dt} = -k \quad (2.4.14)$$

Dimana satuan k adalah $M L^{-3}T^{-1}$. Jika c adalah c_0 saat $t = 0$, persamaan dapat diintegrasikan sebagai berikut:

$$c = c_0 - k(t - t_0) \quad (2.4.15)$$

Grafik yang diperoleh dari reaksi yang berlangsung konstan adalah linear.



Gambar 2.13. Grafik konsentrasi vs waktu untuk reaksi orde nol

(Chapra,1997)

- Orde 1

Untuk model reaksi orde 1, persamaan yang berlaku adalah :

$$\frac{dc}{dt} = -kc \quad (2.4.16)$$

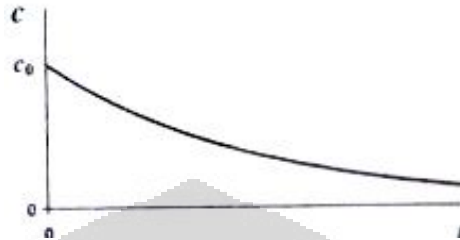
Jika c adalah c_0 saat $t = 0$, persamaan dapat diintegrasikan sebagai berikut:

$$\ln c - \ln c_0 = -kt \quad (2.4.17)$$

Jika kedua ruas dijadikan eksponensial, didapat persamaan berikut.

$$c = c_0 e^{-\frac{k}{U}x} \quad (2.4.18)$$

Model tersebut dispesifikasikan sebagai konsentrasi yang menurun setiap perubahan waktu secara eksponensial. Persamaan (2.4.18) dapat disebut juga dengan *decay rate* karena berhubungan dengan fungsi eksponensial untuk menentukan penurunan konsentrasi berdasarkan perubahan waktu.



Gambar 2.14. Grafik konsentrasi vs waktu untuk reaksi orde nol

(Chapra,1997)

- Orde 2

Untuk model reaksi orde 2, persamaan yang berlaku adalah :

$$\frac{dc}{dt} = -kc^2 \quad (2.4.19)$$

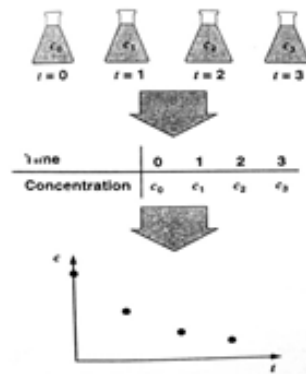
Jika c adalah c_0 saat $t=0$, persamaan dapat diintegrasikan sebagai berikut:

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_0} + kt \quad (2.4.20)$$

Persamaan diatas jika diplot antara $1/c$ dan waktu (t) menghasilkan grafik lurus dan dapat diekspresikan dalam bentuk konsentrasi sebagai fungsi waktu.

$$c = c_0 \frac{1}{1 + kc_0 t} \quad (2.4.21)$$

Perhitungan laju peluruhan dapat dilakukan dengan metode sederhana yaitu dengan pengambilan sampel di satu titik dengan perbedaan waktu pengambilan sampel. Ilustrasi dari penentuan koefisien secara observasi adalah sebagai berikut.

Gambar 2.15. Penentuan *decay value*

(Chapra,1997)

2.4.5 Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik yang digunakan untuk memformulasikan persoalan matematik sehingga dapat diselesaikan dengan operasi aritmatika biasa. Jika suatu masalah yang dihadapi tidak dapat diselesaikan dengan metode matematika (analitik), maka solusinya dapat diperoleh dengan metode numerik. Namun metode numerik hanya dapat memberikan solusi mendekati hasil yang sebenarnya sehingga memiliki masih nilai error.

Perhitungan secara numerik dibutuhkan karena perhitungan secara analitis memiliki beberapa batasan, yaitu:

- a. Dalam perhitungan secara analitis fungsi *loading* dianggap ideal untuk memenuhi bentuk linear, eksponensial, maupun sinusoidal. Pada kenyataannya, *loading* tidak sepenuhnya memenuhi bentuk atau pola tersebut.
- b. Variabel parameter seperti Q , V , k , v , dalam perhitungan analitis dianggap konstan. Padahal pada kenyataannya, parameter tersebut dapat bervariasi.
- c. Sistem dengan lebih dari dua segmen membutuhkan perhitungan numerik agar lebih efisien.
- d. Persamaan analitis yang telah dibahas terbatas pada reaksi orde satu, yang berarti perhitungan terbatas pada aljabar linear dan persamaan diferensial. Pada kenyataannya, terdapat berbagai permasalahan kualitas air yang membutuhkan reaksi nonlinear. Dalam kasus ini, perhitungan secara analitis tidak dapat digunakan.

Terdapat beberapa metode perhitungan numerik yang dapat dimasukkan ke dalam komputer sebagai pengolahan data yaitu Metode Euler, Metode Heun, dan Metode Runge-Kutta.

2.4.5.2 Metode Euler

Metode Euler merupakan metode numerik yang paling sederhana. Dasar dari pendekatan orde pertama ini adalah menyelesaikan permasalahan matematik secara aritmatika. Sebagai contoh untuk melakukan pemodelan konsentrasi suatu zat pada sebuah perairan, digunakan suatu persamaan diferensial sebagai alat untuk menghitung laju perubahan atau *slope* dari konsentrasi yang dimaksud. Persamaan diferensial tersebut diubah menjadi persamaan aljabar yang dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi pada waktu tertentu dengan menggunakan *slope* dan nilai konsentrasi yang sebelumnya. Keakuratan dari metode ini dapat diperoleh dengan meminimalisasikan perubahan waktu yang ditentukan. Metode Euler secara umum dapat digambarkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$c_{i+1} = c_i + f(t_i, c_i)h \quad (2.4.22)$$

dimana :

$f(t_i, c_i) = \frac{dc_i}{dt}$: nilai dari persamaan diferensial

h : perubahan waktu

t_i : waktu awal

c_i : konsentrasi awal

2.4.5.3 Metode Heun

Metode Heun dikembangkan untuk meminimalisasi error dari Metode Euler dengan cara memperhitungkan turunan sepanjang interval. Turunan tersebut dirata-ratakan dari satu nilai di awal dan satu nilai di akhir untuk mendapatkan perkiraan yang lebih baik untuk slope sepanjang interval.

Dalam Metode Euler, slope di awal interval dinyatakan dengan:

$$\frac{dc_i}{dt} = f(t_i, c_i) \quad (2.4.23)$$

Persamaan tersebut diekstrapolasi secara linear menjadi c_{i+1} :

$$c_{i+1}^0 = c_i + f(t_i, c_i)h \quad (2.4.24)$$

Pada Metode Heun, c_{i+1}^0 yang dihitung dalam persamaan diatas bukan merupakan penyelesaian terakhir melainkan merupakan sebuah prediksi lanjutan. Angka 0 di atas c menunjukkan perkiraan c_{i+1} yang merupakan kalkulasi dari perkiraan slope di akhir interval:

$$\frac{dc_{i+1}}{dt} = f(t_{i+1}, c_{i+1}^0) \quad (2.4.25)$$

Nilai *slope* dari kedua persamaan diatas dapat dikombinasikan untuk mendapatkan rata-rata *slope* untuk interval, menjadi:

$$\frac{\overline{dc}}{dt} = \frac{f(t_i, c_i) + f(t_{i+1}, c_{i+1}^0)}{2} \quad (2.4.26)$$

Slope rata-rata kemudian digunakan untuk ekstrapolasi linear dari c_i menjadi c_{i+1} menjadi:

$$c_{i+1} = c_i + \frac{f(t_i, c_i) + f(t_{i+1}, c_{i+1}^0)}{2} h \quad (2.4.27)$$

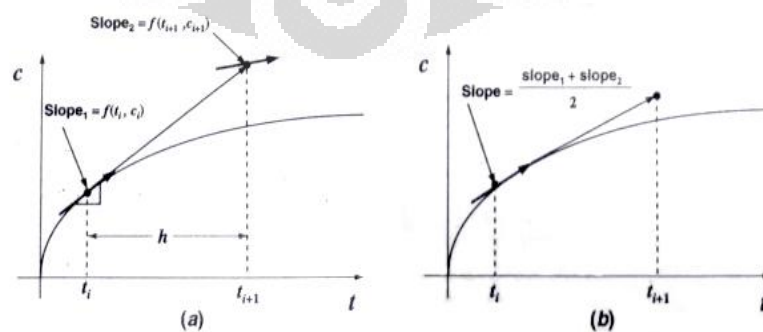
Metode Heun sering disebut sebagai *predictor-corrector method*. Kemudian dapat diekspresikan secara ringkas sebagai :

Predictor :

$$c_{i+1}^0 = c_i + f(t_i, c_i)h \quad (2.4.28)$$

Corrector:

$$c_{i+1} = c_i + \frac{f(t_i, c_i) + f(t_{i+1}, c_{i+1}^0)}{2} h \quad (2.4.29)$$



Gambar 2.16 (a) Grafik *Predictor* (b) Grafik *Corrector* pada Metode Heun
(Chapra, 1997)

2.4.5.4 Metode-Runge Kutta

Metode Runge-Kutta merupakan metode numerik yang paling umum digunakan pada pemodelan kualitas air. Persamaan umum pada metode ini adalah sebagai berikut:

$$c_{i+1} = c_i + \emptyset h \quad (2.4.30)$$

dimana \emptyset merupakan estimasi nilai *slope*. Bila dibandingkan persamaan (2.4.30) dengan persamaan (2.4.22) pada Metode Euler, dapat diindikasikan bahwa Metode Euler merupakan persamaan Metode Runge-Kutta orde satu dengan $\emptyset = f(t_i, c_i)$. Sedangkan Metode Heun tanpa persamaan *corrector* merupakan orde kedua dari algoritma Runge-Kutta.

Pada umumnya Metode Runge-Kutta menggunakan persamaan orde empat dengan bentuk sebagai berikut.

$$c_{i+1} = c_i + \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] h \quad (2.4.31)$$

dimana:

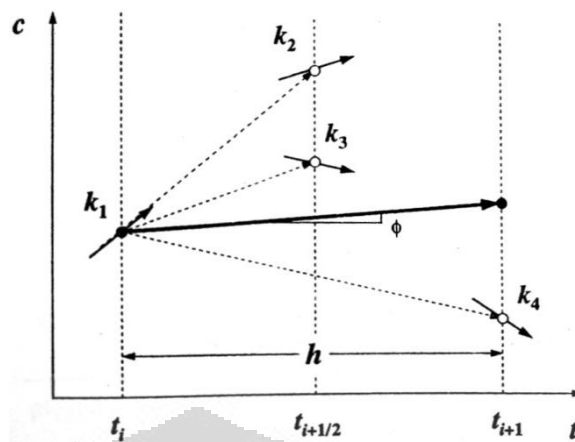
$$k_1 = f(t_i, c_i) \quad (2.4.32)$$

$$k_2 = f\left(t_i + \frac{1}{2}h, c_i + \frac{1}{2}hk_1\right) \quad (2.4.33)$$

$$k_3 = f\left(t_i + \frac{1}{2}h, c_i + \frac{1}{2}hk_2\right) \quad (2.4.34)$$

$$k_4 = f(t_i + h, c_i + hk_3) \quad (2.4.35)$$

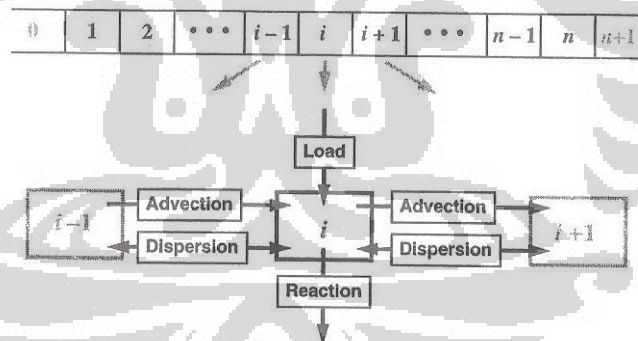
Metode Runge-Kutta orde empat memiliki kesamaan dengan Metode Heun, hanya saja pada metode ini dikembangkan pendekatan *slope* pada setiap interval. Berikut ini merupakan gambar pendekatan *slope* dari Metode Runge Kutta.



Gambar 2.17. Pendekatan *Slope* Pada Metode Runge Kutta
(Chapra, 1997)

2.4.6 Pendekatan Kontrol Volume

Pendekatan kontrol volume digunakan untuk memodelkan perubahan konsentrasi terhadap perubahan jarak dengan menggunakan komputer. Pada metode penelitian ini dilakukan pendekatan secara sederhana sehingga dapat diasumsikan reaksi berlangsung secara *steady state*.



Gambar 2.18. Keseimbangan Massa Pada Kontrol Volume
(Chapra, 1997)

2.4.6.1 Kontrol Volume

Pada gambar 2.19, pendekatan didasarkan pada pembagian badan air menjadi beberapa segmen atau kontrol volume. Segmen 0 dan $n+1$ menggambarkan batasan dari segmen-segmen tersebut. Sehingga nilai yang perlu untuk dihitung ialah c_1, c_2, \dots, c_n .

Pada sungai yang memiliki reaksi adveksi dan dispersi, persamaan keseimbangan massa dalam kondisi *steady state* pada suatu segmen/volume dapat ditulis :

$$0 = W_i + Q_{i-1,i}c_{i-1} - Q_{i,i+1}c_i + E'_{i-1,i}(c_{i-1} - c_i) + E'_{i,i+1}(c_{i+1} - c_i) - k_iV_i c_i \quad (2.4.36)$$

Jika dikelompokkan berdasarkan komponennya, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$W_i = -(Q_{i-1,i} + E'_{i-1,i})c_{i-1} + (Q_{i,i+1} + E'_{i-1,i} + E'_{i,i+1} + k_iV_i)c_i - (E'_{i,i+1})c_{i+1} \quad (2.4.37)$$

atau

$$W_i = a_{i,i-1}c_{i-1} + a_{i,i}c_i + a_{i,i+1}c_{i+1} \quad (2.4.38)$$

dimana:

$$a_{i,i-1} = -Q_{i-1,i} - E'_{i-1,i} \quad (2.4.39)$$

$$a_{i,i} = Q_{i,i+1} + E'_{i-1,i} + E'_{i,i+1} + k_iV_i \quad (2.4.40)$$

$$a_{i,i+1} = -E'_{i,i+1} \quad (2.4.41)$$

2.4.6.2 Pendekatan Kontrol Volume (Solusi *Steady State*)

Persamaan dalam penentuan konsentrasi pada segmen-segmen dalam kontrol volume yang telah ditentukan, dapat diselesaikan dalam bentuk matriks dengan memasukan konstanta yang telah ditentukan pada pembahasan kontrol volume sebelumnya.

$$[A]\{c\} = \{W\} \quad (2.4.42)$$

dimana :

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{n-1,n-1} & a_{n-1,n} \\ 0 & 0 & a_{53} & a_{n,n-1} & a_{n,n} \end{bmatrix} \quad (2.4.43)$$

$$c = \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{n-1} \\ c_n \end{Bmatrix} \quad W = \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_{n-1} \\ W_n \end{Bmatrix} \quad (2.4.44)$$

2.4.7 Solusi *Simple Time-Variable*

Simple Time-Variable merupakan metode numerik sederhana untuk menghitung konsentrasi terhadap perubahan atau variasi waktu. Analisis *time variable* secara sederhana dapat diperoleh dari keseimbangan massa badan air yaitu:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = E \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2.4.45)$$

Solusi numerik untuk persamaan di atas dapat dikembangkan dengan pendekatan Finite Difference. Finite Difference adalah sebuah metode pendekatan untuk solusi persamaan diferensial dengan mengubah turunan dari persamaan tersebut menjadi persamaan lain yang setara. Jika persamaan (2.4.45) dianalisa dengan pendekatan secara *Finite Difference* dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{\partial c}{\partial t} \cong \frac{c_i^{l+1} - c_i^l}{\Delta t} \quad (2.4.46)$$

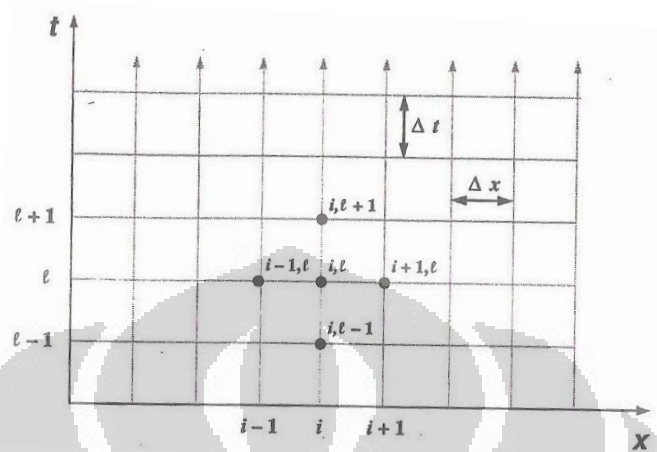
$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \cong E \frac{c_i^{l+1} - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} \quad (2.4.47)$$

$$\frac{c_i^{l+1} - c_i^l}{\Delta t} = E \frac{c_i^{l+1} - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} \quad (2.4.48)$$

Pendekatan tersebut dapat disebut dengan *forward-time/centered space* (FTCS) lalu diperoleh persamaan untuk mencari konsentrasi pada $t = l+1$ saat $x=i$:

$$c_i^{l+1} = c_i^l + E \frac{c_i^{l+1} - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} \Delta t \quad (2.4.49)$$

Untuk memudahkan dalam pemahaman rumus di atas, di bawah ini merupakan gambar pendekatan Metode *Finite Difference* yang melibatkan antara titik waktu (l) serta jarak (i).



Gambar 2.19. Karakterisasi dimensi spasial dan temporal dengan grid
(Chapra,1997)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

Metodologi ilmiah adalah cara menerapkan prinsip-prinsip logis terhadap penemuan, pengesahan, dan penjelasan tentang suatu kebenaran. Penelitian adalah suatu metode studi melalui penyelidikan yang hati-hati dan sempurna terhadap suatu masalah sehingga diperoleh pemecahan yang tepat terhadap masalah tersebut (Hilway, 1956).

Penelitian yang dilakukan adalah menentukan model konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat lindi dari TPA Cipayung dalam suatu pemodelan secara numerik. Model yang dibuat dilakukan dimana beban lindi dari TPA Cipayung dibuat secara impuls dimana pembuangan lindi dengan jenis tersebut hanya dilakukan selama 1 kali. Namun dalam kondisi di lapangan jika mengaplikasikan model ini, pembuangan lindi dilakukan secara periodik, hanya saja dalam memodelkan konsentrasi dibuat menjadi impuls untuk menyederhanakan perhitungan.

Dengan mengetahui konsentrasi total nitrogen di sungai dalam suatu pemodelan, dapat diperkirakan jarak aman pada sungai dimana perkiraan nilai amonia dan nitrat yang diperoleh dari konsentrasi total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan tidak melebihi baku mutu air bersih sesuai dengan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Selain itu pada hasil survey penulis tahun 2010, Sungai Pesanggrahan yang berada di sekitar TPA Cipayung mengalami indikasi eutrofikasi berupa tingginya konsentrasi alga di permukaan sungai.

Metodologi penelitian ini berupa urutan langkah-langkah dan tata cara penelitian secara sistematis berdasarkan studi literatur yang selanjutnya dapat ditulis secara ringkas pada diagram alir penelitian. Data yang dibutuhkan berupa data primer yang diperoleh dari pengukuran penulis sendiri di lapangan serta data sekunder yang didapat dari pihak TPA Cipayung. Setelah data-data tersebut

dikelola dan menghasilkan suatu pemodelan, konsentrasi ammonia dan nitrat yang diperoleh dari total nitrogen akan dibandingkan dengan observasi lapangan dengan mengukur konsentrasi total nitrogen di laboratorium berdasarkan perubahan jarak dan waktu yang telah ditentukan penulis. Dengan adanya perbedaan hasil antara model dengan observasi di lapangan akan diperoleh nilai error dan validasi terhadap model itu sendiri.

3.2 Kerangka Pemikiran

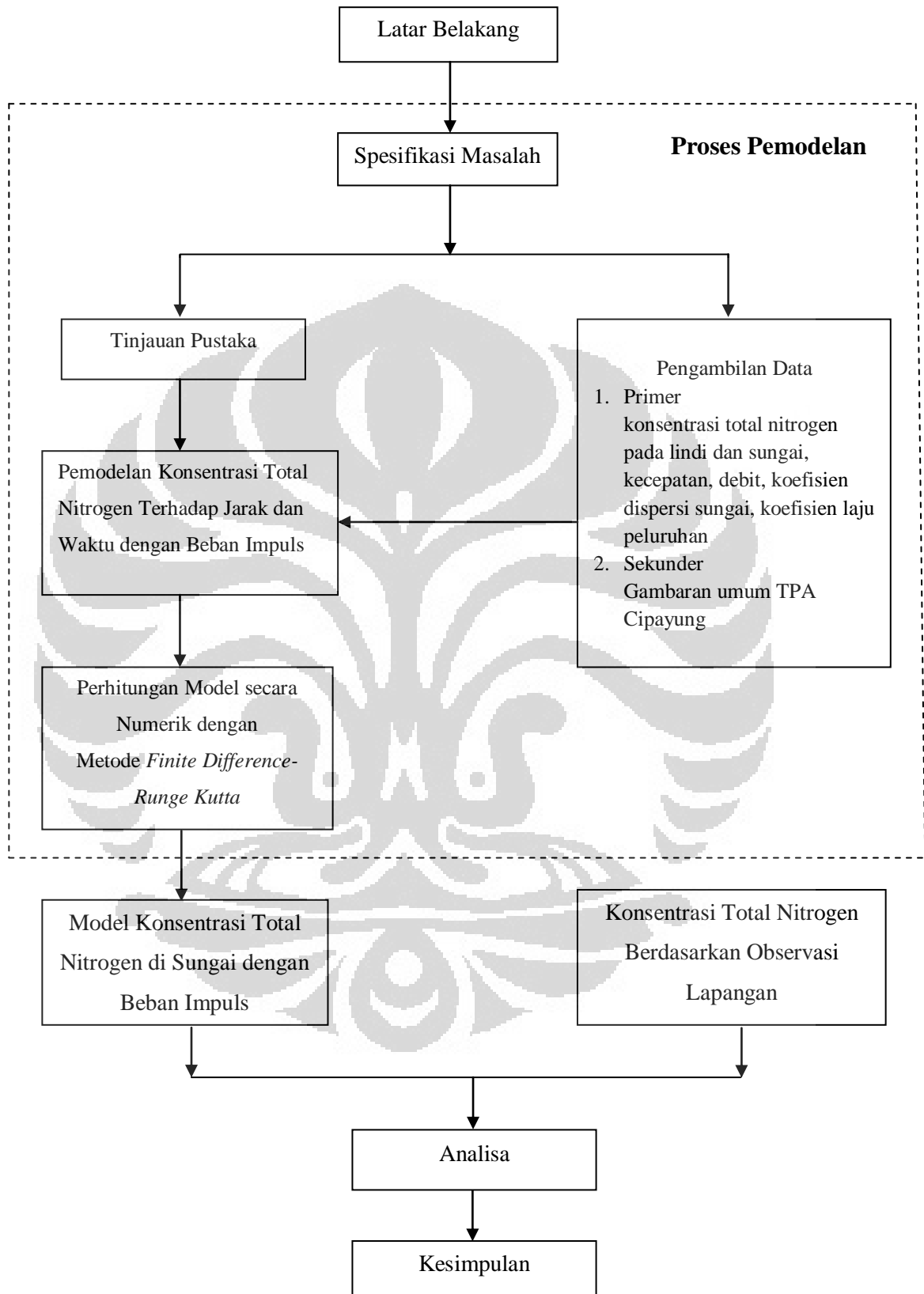
Penelitian yang dilakukan berlandaskan kepada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Cipayung yang diharapkan menjadi fasilitas pengolahan sampah terpadu. Namun pada kondisi sebenarnya, TPA Cipayung menjadi salah satu sumber pencemar perairan akibat buangan lindi yang di buang ke Sungai Pesanggrahan secara terus menerus. Selain itu konsentrasi dari amonia dan nitrat yang diperoleh dari perhitungan total nitrogen tersebut melebihi baku mutu. Nitrogen sebagai salah satu parameter pencemar pada lindi yang melebihi baku mutu, dapat mengakibatkan masalah lingkungan seperti *ammonia toxicity*, eutrofikasi, dan nitrifikasi.

Oleh karena itu dilakukan pemodelan kualitas air permukaan sebagai sebuah alat pemantau lingkungan yang berfungsi untuk memprediksi tingkat pencemaran pada Sungai Pesanggrahan dan sebagai alat prediksi konsentrasi nitrogen terhadap jenis sistem pembuangan lindi ke sungai. Pemodelan dilakukan dengan input limbah secara impuls, mengingat konsentrasi pencemar di sungai akan menurun seiring dengan perubahan jarak dan waktu tempuh bila limbah tidak dibuang secara kontinu.

Dengan mengetahui penurunan atau kenaikan konsentrasi total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan berdasarkan sistem pembuangan lindi, dapat menjadi salah satu rekomendasi bagi TPA untuk memperbaiki sistem pembuangan lindi ke sungai agar meminimalisasi pencemaran air.

3.3 Diagram Penelitian

Diagram penelitian meliputi tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian secara sistematis.



Gambar 3.1. Diagram Penelitian
(Pengolahan Penulis, 2010)

3.4 Tahapan Proses Pemodelan

3.4.1 Spesifikasi Masalah

Spesifikasi masalah yang dimaksud dalam tahap ini mencakup batasan masalah, tujuan, serta sasaran yang diinginkan dalam suatu pemodelan. Hal ini ditunjang dengan latar belakang mengapa perlu dibuat adanya pemodelan dari suatu masalah tersebut. Masalah yang ada dimulai dari lindi yang dihasilkan dari TPA Cipayung dibuang ke Sungai Pesanggrahan. Salah satu kandungan pencemar dari lindi TPA yaitu senyawa-senyawa nitrogen seperti nitrogen organik, amonia, nitrit, dan nitrat yang berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik pada sampah dan oksidasi dari senyawa nitrogen yang berubah menjadi senyawa nitrogen lainnya sebagai contoh adalah perubahan dari amonia menjadi nitrat dalam proses nitrifikasi. Jika ditinjau secara umum, senyawa-senyawa nitrogen tersebut dapat dikelompokkan menjadi total nitrogen. Oleh karena itu parameter pencemar yang akan dimodelkan berupa total nitrogen. Jika total nitrogen dipecah menjadi senyawa turunannya seperti amonia, konsentrasi amonia pada efluen pengolahan lindi TPA Cipayung melebihi standar baku mutu air limbah industri sesuai dengan PP No.51 tahun 1995. Konsentrasi amonia pada lindi TPA Cipayung saat pengukuran awal mencapai 129,1 mg-NH₃/L sedangkan batas maksimum amonia menurut baku mutu tersebut sebesar 1 mg-NH₃/L untuk air limbah golongan I dan 5 mg-NH₃/L untuk air limbah golongan II.

Ditinjau pada keadaan sebenarnya, lindi TPA yang dibuang ke Sungai Pesanggrahan dibuang secara kontinu yang dapat menyebabkan akumulasi konsentrasi pencemar di badan air penerima seiring bertambahnya waktu. Pada pemodelan yang akan dibuat kali ini adalah bagaimana konsentrasi pencemar di badan air jika beban lindi TPA Cipayung dibuang secara impuls. Berdasarkan Chapra (1997), limbah yang dibuang secara impuls akan mengalami penurunan konsentrasi terhadap waktu dan jarak. Oleh karena itu pemodelan ini dibuat sebagai salah satu pilihan rekomendasi TPA Cipayung agar tidak mencemari perairan di Sungai Pesanggrahan. Namun dalam keadaan di lapangan, lindi TPA Cipayung tidak dapat dibuang secara impuls, oleh karena itu jika pemodelan ini akan dipalikhasikan, lindi TPA Cipayung dapat dibuang ke Sungai secara berkala sehingga model ini masih dapat digunakan.

Untuk memodelkan konsentrasi suatu badan air, dibutuhkan komponen-komponen model yang berupa informasi dasar mengenai sumber pencemar dan badan air penerima, dalam hal ini adalah lindi TPA Cipayung dan Sungai Pesangrahan. Namun komponen model tersebut dapat diketahui secara pasti jika persamaan yang digunakan untuk memodelkan konsentrasi total nitrogen terhadap perubahan jarak dan waktu telah ditentukan. Oleh karena itu komponen model akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

3.4.2 Pemilihan Metode dalam Pemodelan Konsentrasi di Sungai

Pemilihan metode untuk membuat suatu pemodelan dibuat dengan membandingkan antara beberapa alternatif dan dipilih metode yang paling mendekati dan mendeskripsikan kondisi yang ada di lapangan.

Pemilihan pertama yang dilakukan dengan membandingkan antara penggunaan metode analitik dan numerik. Metode analitik adalah metode yang dapat menyelesaikan solusi dengan tidak ada nilai error, namun hanya unggul pada persoalan matematika yang terbatas. Sedangkan metode numerik adalah teknik yang digunakan untuk memformulasikan persoalan matematik/analitik sehingga dapat dipecahkan dengan operasi hitungan/aritmatika biasa. Jika dibandingkan antara kedua pendekatan tersebut, terdapat beberapa alasan mengapa pendekatan secara numerik lebih baik dibanding dengan analitik yaitu:

- Pemakaian metode analitik terkadang sulit diterjemahkan ke dalam algoritma yang dapat dihitung oleh komputer
- Tidak semua masalah yang ada di dunia nyata yang direpresentasikan dalam bentuk matematis dapat diselesaikan dengan metode analitik, sebagai contoh terdapat berbagai permasalahan kualitas air yang membutuhkan reaksi nonlinear dan dalam kasus ini perhitungan secara analitis tidak dapat digunakan.

Namun dari kelebihan tersebut, dengan metode pendekatan tentunya memiliki nilai error. Nilai error tersebut dapat diketahui pada tahap membandingkan hasil model dengan observasi.

Pemilihan kedua yaitu memilih antara metode-metode numerik yang dapat digunakan pada pemodelan kualitas air untuk memprediksikan perubahan

konsentrasi suatu pencemar di badan air berdasarkan perubahan jarak dan waktu. Alternatif-alternatif metode numerik yang terdapat pada literatur yang biasa digunakan dalam pemodelan kualitas air permukaan adalah Metode Euler, Heun, dan Runge Kutta. Dari ketiga metode tersebut, Metode Runge Kutta dipilih sebagai pendekatan paling baik. Hal itu dikarenakan metode ini memiliki pendekatan *slope* yang lebih teliti diantara Metode Euler dan Heun mengingat bahwa penyelesaian Metode Runge Kutta menggunakan orde 4. Sedangkan Metode Euler dan Metode Heun merupakan Metode Runge Kutta dengan orde 1 dan 2.

Namun penyelesaian dengan Metode Runge-Kutta masih belum cukup disaat menyelesaikan suatu permasalahan lingkungan yang lebih sulit. Sebagai contoh untuk memodelkan konsentrasi suatu pencemar di sungai terhadap jarak dan waktu, berjalan dengan fungsi nonlinear sehingga diperlukan suatu pendekatan lain agar penyelesaian matematis tersebut dapat dihitung dengan pendekatan numerik. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan yaitu Finite Difference. Finite Difference adalah sebuah metode pendekatan untuk solusi persamaan diferensial dengan mengubah turunan dari persamaan tersebut menjadi persamaan lain yang setara. Sebagai contoh, jika terdapat suatu persamaan diferensial $\frac{\partial c}{\partial t}$ dan $\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$ dapat diselesaikan sebagai berikut sesuai dengan persamaan (2.4.46) dan (2.4.47).

$$\frac{\partial c}{\partial t} \cong \frac{c_i^{l+1} - c_i^l}{\Delta t} \quad (2.4.46)$$

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \cong \frac{c_i^{l+1} - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} \quad (2.4.47)$$

3.4.3 Penyusunan Model

Model yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah model konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat buangan lindi TPA Cipayung dengan beban impuls. Untuk membuat model ini dibutuhkan data-data komponen model. Komponen-komponen model yang dibutuhkan, akan diketahui jika telah

menetapkan keseimbangan massa yang terjadi di Sungai Pesanggrahan dan karakterisasi pencemar yaitu total nitrogen.

Dalam memodelkan konsentrasi pencemar di sungai, sungai dapat diibaratkan sebagai *Mixed-Flow Reactor* (MFR). MFR merupakan reaktor yang memperhitungkan terjadinya dispersi dan adveksi. Adveksi merupakan perpindahan suatu senyawa di air tanpa mengubah komposisi dari senyawa tersebut. Sedangkan dispersi merupakan perpindahan massa akibat pergerakan air. Selain itu adanya beban impuls yang berasal dari lindi TPA Cipayung berpengaruh terhadap keseimbangan massa di sungai. Sehingga faktor yang berpengaruh pada keseimbangan massa di sungai yaitu beban, adveksi, dan dispersi. Beban lindi TPA Cipayung direpresentasikan dengan debit lindi dikali dengan konsentrasi total nitrogen di sungai. Adveksi pada sungai direpresentasikan dengan fluks massa yang masuk dan keluar reaktor yang melibatkan kecepatan sungai dikali dengan luas *cross section* sungai. Sedangkan untuk dispersi direpresentasikan dengan fluks massa yang masuk dan keluar reaktor yang melibatkan koefisien dispersi sungai dikali dengan luas *cross section* sungai.

Bila ditinjau parameter pencemarnya yaitu total nitrogen lebih cenderung mengalami reaksi kinetik di sungai. Reaksi tersebut dapat berupa perubahan senyawa nitrogen menjadi senyawa nitrogen lainnya maupun peluruhan total nitrogen di sungai. Reaksi kinetik pada sungai direpresentasikan dengan fluks massa yang melibatkan koefisien laju peluruhan dan volume bagian sungai yang ditinjau.

Bila ditulis ke dalam sebuah persamaan, keseimbangan massa pada Sungai Pesanggrahan yang diibaratkan sebagai MFR akibat pencemar total nitrogen sesuai dengan persamaan (2.4.5) dan ditambah input beban total nitrogen sehingga persamaan keseimbangan menjadi:

$$\Delta V \frac{dc}{dt} = -UA_c \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + EA_c \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \Delta x - k\Delta V \bar{c} + W \quad (3.4.1)$$

(Akumulasi = Adveksi + Dispersi + Reaksi + Beban)

3.4.3.1 Perhitungan Komponen Model

Dari persamaan keseimbangan massa sungai yang telah ditentukan, diketahui komponen-komponen yang dibutuhkan untuk membuat model. Perhitungan komponen model diperoleh melalui tinjauan pustaka serta pengambilan data primer.

a. Beban total nitrogen lindi TPA Cipayung (W)

Beban total nitrogen dari lindi TPA Cipayung diperoleh dari perkalian antara debit lindi TPA Cipayung (Q_w) dan konsentrasi lindi TPA Cipayung (c_w). Untuk perhitungan Q_w dilakukan secara manual dengan mengalikan kecepatan lindi dengan luas *cross section* aliran lindi yang diukur pada saluran efluen pengolahan lindi. Kecepatan lindi (U) diukur dengan menghitung waktu tempuh sebuah benda pada aliran lindi hingga mencapai jarak yang ditentukan. Dalam hal ini, benda yang digunakan adalah bola pingpong dan jarak yang ditentukan sepanjang 1 meter. Dilakukan 5 kali pengambilan waktu tempuh agar dapat lebih merepresentasikan kecepatan rata-rata lindi di saluran efluen pengolahan lindi. Sedangkan luas *cross section* aliran lindi (A_c) diperoleh dengan mengalikan lebar saluran lindi dengan kedalaman rata-rata aliran lindi. Untuk perhitungan konsentrasi total nitrogen lindi TPA Cipayung menggunakan Metode Kjeldahl sesuai dengan *Japanese International Standard (JIS)* sesuai dengan persamaan (2.2.1).

$$N = a \times \frac{1000}{V} \times \frac{200}{25} \times 0,7766 + b \times \frac{1000}{V} \times \frac{200}{25} \times 0,7766 \quad (2.2.1)$$

Persamaan di atas berlaku dengan dua kondisi. Pertama, spektrofotometer yang digunakan untuk membaca konsentrasi ion amonium belum melibatkan volume sampel. Kedua, massa ion amonium pada blanko mengandung 0,8 mg atau lebih ion amonium. Pada pemeriksaan ion amonium di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, spektrofotometer yang digunakan telah melibatkan perhitungan volume sehingga konstanta $1000/V$ tidak diperhitungkan kembali. Selain itu, larutan yang digunakan sebagai penjerap ion amonium menggunakan H_2SO_4 0,02 N. Setelah diperiksa, larutan dengan normalitas tersebut mengandung ion

amonium yang sangat sedikit sehingga dapat diabaikan. Untuk sampel yang mengandung ion amonium yang besar seperti lindi, dibutuhkan pengenceran. Maka perhitungan total nitrogen menjadi sebagai berikut.

$$N = a \times f_1 \times 0,7766 + b \times f_2 \times 0,7766 \quad (3.4.2)$$

dimana :

N : total nitrogen (mg-N/L)

a : amonium yang diukur setelah proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄/L)

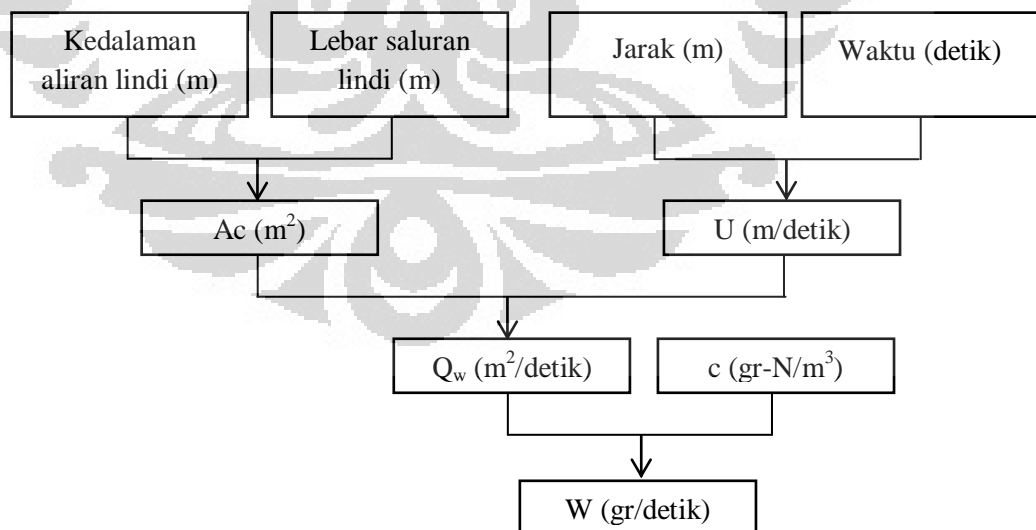
b : amonium yang diukur tanpa proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄/L)

f_1 : faktor pengenceran prosedur a sebesar 5 kali

f_2 : faktor pengenceran prosedur a sebesar 100 kali

0,7766 : faktor konversi ion amonia menjadi nitrogen berdasarkan massa molekul relatif nitrogen terhadap amonia yaitu 14,01/18,04

Penentuan beban total nitrogen akibat lindi TPA Cipayung secara ringkas dapat ditulis pada diagram alir berikut.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penentuan Nilai W

(Pengolahan Penulis, 2011)

b. Debit Sungai Pesanggrahan (Q_r)

Debit Sungai Pesanggrahan diukur dengan alat *current meter*. *Current meter* diletakan pada titik 0,25L, 0,5 L, dan 0,75 L dimana L adalah lebar sungai. Hal tersebut dilakukan karena debit sungai berbeda pada bagian tengah dan tepi sungai. Prinsip dari alat tersebut adalah seberapa banyak rotasi yang terjadi pada baling-baling *current meter* akibat pergerakan aliran air di sungai. Sebelum ditentukan nilai debit sungai, dari perhitungan yang dilakukan diketahui kecepatan rata-rata Sungai Pesanggrahan. Sedangkan kedalaman sungai rata-rata diukur melalui pengukuran secara manual.

Tabel 3.1. Penentuan debit Sungai dengan *Current Meter*

Lebar sungai	Kedalaman (H)	Kecepatan			Luas sungai	Debit
(m)	(m)	(m/detik)			(m ²)	(m ³ /detik)

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

c. Konsentrasi total nitrogen (c_r)

Data ini digunakan untuk mengetahui konsentrasi total nitrogen sebelum adanya penambahan konsentrasi total nitrogen akibat buangan lindi TPA Cipayung. Sama halnya dengan penentuan konsentrasi total nitrogen pada lindi, konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan dilakukan dengan Metode Kjeldahl sesuai dengan *Japanese International Standard (JIS)*. Prinsip Metode Kjeldahl berdasarkan JIS adalah total nitrogen sebanding dengan nitrogen organik dan amonia atau sebanding dengan nitrit ditambah nitrat. Untuk perhitungan dengan metode ini sesuai dengan persamaan (3.4.2).

d. Koefisien laju peluruhan total nitrogen (k)

Perhitungan koefisien laju peluruhan total nitrogen dilakukan dengan metode integral dimana sebelum menentukan nilai dari koefisien laju peluruhan, ditentukan terlebih dahulu jenis orde reaksi. Untuk menentukan jenis orde reaksi, diambil sampel pada sungai di titik sebelum adanya buangan lindi di sungai. Sampel tersebut diperiksa konsentrasi total nitrogennya dengan Metode Kjedahl sesuai dengan persamaan (3.4.2) selama 5 hari berturut-turut dengan selang waktu 1 hari.

Tabel 3.2. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Waktu

Waktu (t) ($\Delta t = 1$ hari)	0	1	2	3	4
Konsentrasi (c) (mg-N/L)	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Setelah diperoleh konsentrasi total nitrogen selama 5 hari berturut-turut, data tersebut diplot ke dalam grafik konsentrasi terhadap waktu untuk orde nol, grafik $\ln c$ terhadap waktu untuk orde 1, dan grafik $1/c$ untuk orde 2. Setelah memplot ketiga grafik tersebut, data yang memiliki simpangan paling kecil terhadap *trendline* garis dapat digolongkan terhadap jenis orde reaksi tersebut. Setelah diketahui jenis orde reaksi, maka dapat mengintegrasikan persamaan (2.4.13) sebagai berikut.

$$\int \frac{dc}{dt} = -kc^n \quad (2.4.13)$$

dimana:

k : nilai laju peluruhan yang dicari

c : konsentrasi reaktan

n : orde reaksi

Setelah diintegrasikan, jika reaksi berlangsung dengan orde reaksi orde nol, maka nilai koefisien laju reaksi dapat ditentukan sesuai dengan persamaan (2.4.14) yang memiliki dimensi $M L^{-3} T^{-1}$.

$$c = c_0 - k(t - t_0) \quad (2.4.14)$$

Jika reaksi berlangsung pada orde satu, nilai laju reaksi dapat ditentukan sesuai dengan persamaan (2.4.17) yang memiliki dimensi T^{-1} .

$$\ln c - \ln c_0 = -kt \quad (2.4.17)$$

Sedangkan untuk reaksi yang berlangsung pada orde dua, nilai laju reaksi dapat ditentukan sesuai dengan persamaan (2.4.20) yang memiliki dimensi $L^3 M^{-1} T^{-1}$.

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_0} + kt \quad (2.4.20)$$

e. Koefisien dispersi Sungai Pesanggrahan (E)

Perhitungan koefisien dispersi dilakukan secara analitik sesuai dengan persamaan (2.4.2)

$$E = 0,05937 \frac{Q}{SB} \quad (2.4.2)$$

dimana :

- Q : debit sungai ($m^3/hari$)
- S : kemiringan (*slope*) sungai
- B : lebar sungai (m)

Debit sungai diperoleh dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya dengan bantuan alat *current meter*. Kemiringan atau *slope* Sungai Pesanggrahan diperoleh dengan cara melakukan perhitungan manual yaitu kemiringan sungai sama dengan perbedaan ketinggian sungai dibagi dengan panjang sungai sebagai berikut.

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (3.4.3)$$

dimana :

- S : kemiringan sungai
- ΔH : perbedaan ketinggian (m)
- L : panjang sungai (m)

Perbedaan ketinggian sungai diperoleh dari data elevasi pada *google earth*. Untuk lebar sungai diambil dengan pengukuran langsung ke lapangan dan diambil rata-rata lebar Sungai Pesanggrahan.

3.4.3.2 Penyusunan Model

Setelah mengetahui metode numerik yang digunakan untuk memodelkan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dan waktu berdasarkan beban secara impuls dan komponen-komponen modelnya, penyusunan model dapat langsung dilakukan dengan Metode Runge Kutta-Finite Difference sesuai dengan keseimbangan massa yang terjadi pada Sungai Pesanggrahan. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan.

- a. Pengubahan persamaan keseimbangan massa menjadi bentuk numerik dengan Metode Finite-Difference

Keseimbangan massa di Sungai Pesanggrahan sesuai dengan persamaan (2.4.5) yaitu:

$$\Delta V \frac{dc}{dt} = -UA_c \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + EA_c \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \Delta x - k\Delta V \bar{c} \quad (2.4.5)$$

Dengan input beban total nitrogen dari lindi TPA Cipayung secara impuls, persamaan keseimbangan massa di sungai menjadi sesuai dengan persamaan (3.4.1).

$$\Delta V \frac{dc}{dt} = -UA_c \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + EA_c \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \Delta x - k\Delta V \bar{c} + W \quad (3.4.1)$$

Persamaan keseimbangan massa di atas, jika diubah dalam bentuk numerik melalui Metode Finite Difference sesuai dengan persamaan (2.4.46) dan (2.4.47) adalah sebagai berikut.

$$\Delta V \frac{c_i^{l+1} - c_i^l}{\Delta t} = -UA_c \frac{c_{i+1}^l - c_{i-1}^l}{2\Delta x} \Delta x + EA_c \frac{c_{i+1}^l - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} \Delta x - k\Delta V c_i^l + W_i^l \quad (3.4.4)$$

Dimana i menunjukkan variabel jarak dan l merupakan variabel waktu. Jika kedua ruas dibagi dengan $\Delta V = A_c \Delta x$, maka persamaan keseimbangan massa di sungai menjadi:

$$\frac{c_i^{l+1} - c_i^l}{\Delta t} = -U \frac{c_{i+1}^l - c_{i-1}^l}{2\Delta x} + E \frac{c_{i+1}^l - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} - kc_i^l + \frac{W_i^l}{V} \quad (3.4.5)$$

b. Penentuan kondisi awal (*initial condition*) pada kondisi *steady state*

Data konsentrasi ini digunakan dalam memodelkan konsentrasi berdasarkan perubahan waktu dan jarak dengan kondisi *unsteady*. Penentuan kondisi awal menggunakan pendekatan kontrol volume sehingga sungai diibaratkan ke dalam beberapa segmen. Penentuan segmen didasarkan kepada banyaknya data perubahan konsentrasi terhadap waktu dan jarak yang diinginkan. Pada penelitian ini ditetapkan jumlah segmen di sungai sebanyak 20 buah. Keseimbangan massa yang terjadi pada setiap segmen pada sungai yaitu :

$$0 = W_i + Q_{i-1,i}c_{i,i-1} - Q_{i,i+1}c_i + E'_{i-1,i}(c_{i-1} - c_i) + E'_{i,i+1}(c_{i+1} - c_i) - k_iV_i c_i \quad (2.4.36)$$

Jika dikelompokkan berdasarkan komponennya, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut.

$$W_i = -(Q_{i-1,i} + E'_{i-1,i})c_{i-1} + (Q_{i,i+1} + E'_{i-1,i} + E'_{i,i+1} + k_iV_i)c_i - (E'_{i,i+1})c_{i+1} \quad (2.4.37)$$

atau

$$W_i = a_{i,i-1}c_{i-1} + a_{i,i}c_i + a_{i,i+1}c_{i+1} \quad (2.4.38)$$

dimana:

$$a_{i,i-1} = -Q_{i-1,i} - E'_{i-1,i} \quad (2.4.39)$$

$$a_{i,i} = Q_{i,i+1} + E'_{i-1,i} + E'_{i,i+1} + k_iV_i \quad (2.4.40)$$

$$a_{i,i+1} = -E'_{i,i+1} \quad (2.4.41)$$

Penyelesaian persamaan tersebut ditulis dalam matriks sesuai dengan pendekatan kontrol volume yaitu:

$$[A]\{c\} = \{W\} \quad (2.4.42)$$

dimana :

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{n-1,n-1} & a_{n-1,n} \\ 0 & 0 & a_{53} & a_{n,n-1} & a_{n,n} \end{bmatrix} \quad (2.4.43)$$

$$c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{n-1} \\ c_n \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_{n-1} \\ W_n \end{bmatrix} \quad (2.4.44)$$

Segmen pada sungai ditentukan sebanyak 20 buah sehingga matriks pada persamaan (2.4.42) berukuran 20 x 20.

c. Penentuan konsentrasi terhadap perubahan jarak dan waktu dengan Metode Rung-Kutta

Konsep dari perhitungan dengan Metode Runge Kutta ialah menghitung konsentrasi pada jarak dan waktu selanjutnya dengan menggunakan data konsentrasi awal dengan pendekatan estimasi gradien hingga orde empat. Persamaan untuk mencari nilai c'_{i+1} dapat dihitung sesuai dengan persamaan (2.4.31).

$$c'_{i+1} = c'_i + \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] \Delta t \quad (2.4.31)$$

Karena beban lindi yang masuk ke Sungai Pesanggarahan merupakan jenis impuls, tanda positif untuk nilai *slope* berubah menjadi negatif sehingga konsentrasi akan berkurang terhadap perubahan waktu.

$$c'_{i+1} = c'_i - \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] \Delta t \quad (3.4.6)$$

dimana :

$$k_1 = f(t_i, c_i) \quad (2.4.32)$$

$$k_2 = f\left(t_i + \frac{1}{2}h, c_i + \frac{1}{2}hk_1\right) \quad (2.4.33)$$

$$k_3 = f\left(t_i + \frac{1}{2}h, c_i + \frac{1}{2}hk_2\right) \quad (2.4.34)$$

$$k_4 = f\left(t_i + h, c_i + hk_3\right) \quad (2.4.35)$$

3.4.3.3 Perhitungan Amonia, Nitrit, dan Nitrat

Nilai dari amonia, nitrit, dan nitrat digunakan untuk menganalisa keberadaan senyawa tersebut di perairan berdasarkan konsentrasi total nitrogen di sungai yang diperoleh dari model. Perhitungan amonia, nitrit, dan nitrat menggunakan perhitungan analitik berdasarkan perbandingan nilai massa relatifnya terhadap nitrogen dengan tetap berlandaskan konsep perhitungan total nitrogen sesuai dengan JIS yaitu besarnya total nitrogen sebanding dengan ion amonium ditambah dengan nitrogen organik dan sebanding pula dengan ion nitrit ditambah ion nitrat.

$$N = N - organik + N - NH_4 \quad (3.4.7)$$

$$N = NO_2 + NO_3 \quad (3.4.8)$$

$$NH_3 = \frac{Mr NH_3}{Mr NH_4} \times NH_4 \quad (3.4.9)$$

dimana:

NH_3 : konsentrasi amonia (mg- NH_3/L)

NH_4 : konsentrasi amonium (mg- NH_3/L)

$M_r NH_3$: massa relatif nitrogen yaitu 17,03 gr/mol

$M_r NH_4$: massa relatif amonium yaitu 18.04 gr/mol

$M_r NH_3 / M_r NH_4$: faktor konversi amonium menjadi amonia

$$NO_2 = \frac{Mr NO_2}{Mr N} \times N \quad (3.4.10)$$

dimana:

- N : konsentrasi total nitrogen (mg-N/L)
 $M_r N$: massa relatif nitrogen yaitu 14,0067 gr/mol
 $M_r NO_2$: massa relatif nitrogen nitrit 46,0055 gr/mol
 $M_r NO_2 / M_r N$: faktor konversi nitrogen total menjadi nitrit

$$NO_3 = \frac{M_r NO_3}{M_r N} \times N \quad (3.4.11)$$

dimana:

- N : konsentrasi total nitrogen (mg-N/L)
 $M_r N$: massa relatif nitrogen yaitu 14,0067 gr/mol
 $M_r NO_3$: massa relatif amonium yaitu 62,0049 gr/mol
 $M_r NO_2 / M_r N$: faktor konversi nitrogen total menjadi nitrat

3.4.4 Perbedaan Hasil Model dengan Observasi

Pengukuran konsentrasi total nitrogen pada beberapa titik di Sungai Pesanggrahan dilakukan sebagai salah satu cara untuk menentukan seberapa besar penyimpangan hasil dari konsentrasi total nitrogen yang diperoleh dari model total nitrogen terhadap jarak dan waktu. Proses ini belum dapat menentukan apakah model yang telah disusun dapat dikatakan valid atau tidak karena keterbatasan data hasil observasi. Oleh karena itu, tahap ini hanya sebagai pendekatan untuk mengetahui penyimpangan hasil model.

Jumlah titik pada Sungai pesanggrahan yang akan dibandingkan nilai konsentrasi total nitrogennya terhadap jarak dan waktu akibat beban impuls pada lindi yang ditahan selama 30 menit masing-masing sebanyak 2 buah. Berikut ini merupakan tabel perbandingan hasil antara model dengan observasi beserta titik di Sungai Pesanggrahan yang akan dibandingkan konsentrasi total nitrogennya:

Tabel 3.3. Perbandingan Konsentrasi terhadap Jarak Hasil Model dan Observasi pada $l = 1$

i	Jarak (m)	Model c (mg-N/L)	Observasi c (mg-N/L)	Perbedaan Hasil (%)

1	2			
2	4			

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Tabel 3.4. Perbandingan Konsentrasi terhadap Jarak Hasil Model dan Observasi pada $i = 2$

l	Waktu (detik)	Model c (mg-N/L)	Observasi c (mg-N/L)	Perbedaan Hasil (%)
1				
2				

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Untuk interval waktu yang digunakan dalam membandingkan konsentrasi total nitrogen yang diperoleh dari hasil model dan observasi ditentukan dari persamaan berikut agar dipenuhi syarat kestabilan model.

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{U} \quad (3.4.12)$$

dimana :

Δt : interval waktu (detik)

Δx : interval jarak (m)

U : kecepatan sungai (m/hari)

Pengukuran konsentrasi total nitrogen melalui observasi dilakukan dengan Metode Kjedahl berdasarkan JIS pada Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan. Besarnya perbedaan hasil model dengan observasi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Perbedaan hasil (\%)} = \left| \frac{C_{\text{observasi}} - C_{\text{model}}}{C_{\text{observasi}}} \right| \times 100\% \quad (3.4.13)$$

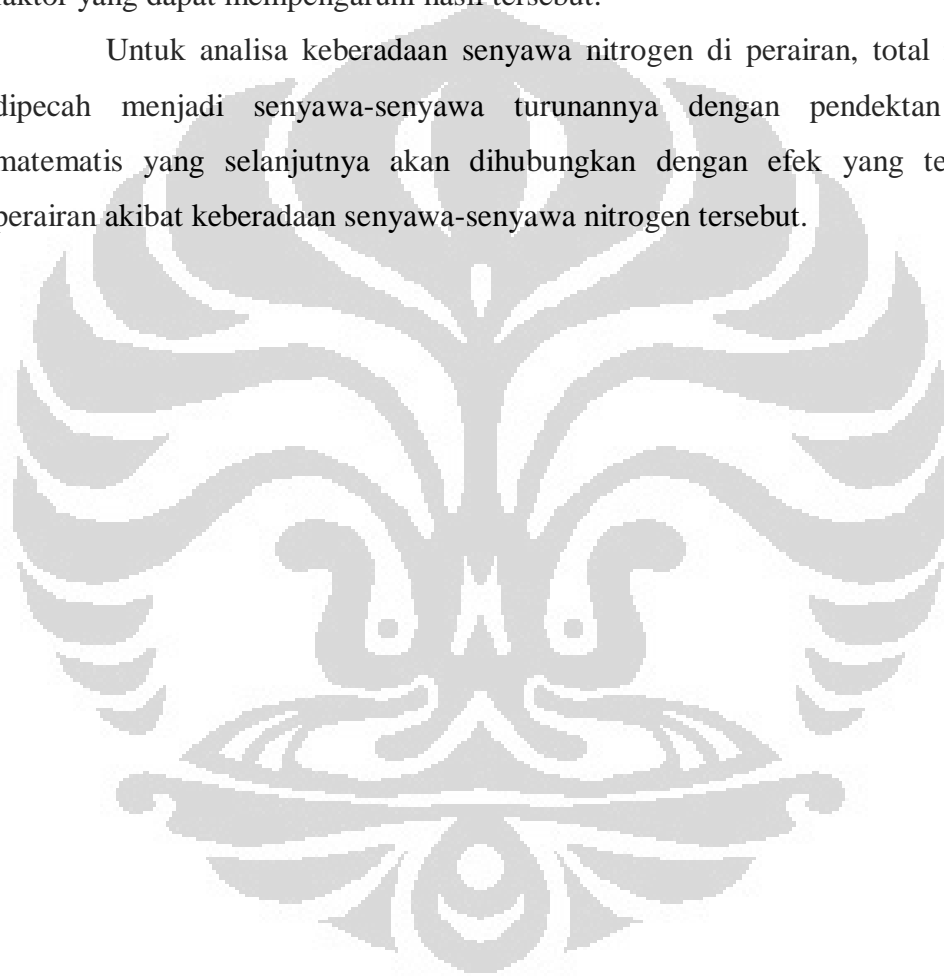
3.5 Analisa

Analisa yang akan dijelaskan pada penelitian ini meliputi analisa hasil komponen model, hasil model konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat lindi TPA Cipayung dengan beban impuls terhadap jarak dan waktu, analisa keberadaan nitrogen di sungai baik dalam keadaan sebenarnya maupun

berdasarkan pada model, serta kesesuaian antara konsentrasi yang diperoleh dari hasil model dan observasi.

Metode analisa model dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan studi pustaka yang bertujuan untuk mengetahui kesesuaian model dengan perhitungan secara matematis. Sedangkan untuk analisa kesesuaian model dengan kondisi sebenarnya di lapangan dapat dilakukan dengan melihat perbedaan konsentrasi total nitrogen yang diperoleh dari model dan observasi beserta faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil tersebut.

Untuk analisa keberadaan senyawa nitrogen di perairan, total nitrogen dipecah menjadi senyawa-senyawa turunannya dengan pendekatan secara matematis yang selanjutnya akan dihubungkan dengan efek yang terjadi di perairan akibat keberadaan senyawa-senyawa nitrogen tersebut.



BAB 4

GAMBARAN UMUM OBJEK STUDI

4.1 Gambaran Umum Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Cipayung

Pemodelan kualitas air dengan parameter total nitrogen dilakukan di Sungai Pesanggrahan dimana sungai tersebut menerima lindi yang berasal dari TPA Cipayung.

TPA Cipayung merupakan tempat pembuangan akhir sampah yang timbulannya berasal dari Kota Depok. TPA Cipayung dioperasikan sejak tahun 1992 dengan sistem *open dumping* pada areal seluas 2,5 Ha. Seiring dengan meningkatnya volume sampah di Kota Depok, TPA Cipayung diperluas hingga 10,1 ha dengan kapasitas rencana sekitar 4.000.000 m³ untuk tempat timbulan sampah. Selain itu, sistem pembuangan sampah yang awalnya menggunakan teknik *open dumping* berubah menjadi *controlled landfill* hingga tahun 2011 dimana pembuangan sampah yang dilakukan di bawah sistem perizinan sesuai dengan undang-undang yang berlaku.

TPA Cipayung terletak di Jalan Bukit Kapur, Kelurahan Cipayung, Kecamatan Pancoran Mas, Kota Depok, dengan batas-batas wilayah sebagai berikut:

- a. Sebelah Utara : Pemukiman Kampung Bulak, Kelurahan Cipayung
- b. Sebelah Selatan: Sungai Pesanggrahan, Kelurahan Pasir Putih
- c. Sebelah Timur : Kebun campuran di Kampung Bulak, Kelurahan Cipayung
- d. Sebelah Barat : Kebun campuran, Sungai Pesanggrahan

Berdasarkan data tahun 2006 penduduk Kota Depok adalah 1.420.000 jiwa, timbulan sampah yang dihasilkan dalam satu hari adalah 3.764 m³/hari, sementara sampah yang terangkut ke TPA Cipayung rata-rata 1.200 m³/hari. Dengan demikian tingkat pelayanan pengangkutan hanya 32%. Pada tahun 2008/2009 disusun Revisi AMDAL TPA Cipayung dengan hasil diperlukan perluasan kapasitas dari 9,1 ha menjadi 11,2 ha untuk memberikan arahan optimalisasi pengelolaan dan pemantauan lingkungan agar meminimalkan dampak negatif dan mengoptimalkan dampak positif. Berikut ini merupakan tabel

kondisi TPA Cipayung yang berasal dari Dinas kebersihan dan Pertamanan Kota Depok :

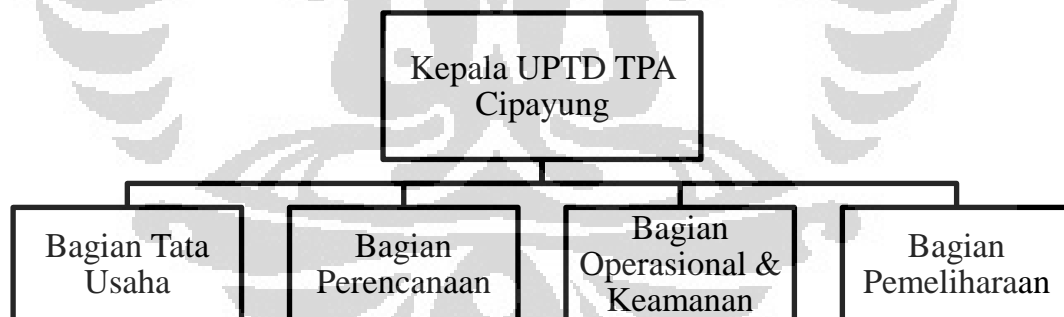
Tabel 4.1. Kondisi TPA Cipayung Depok

Kondisi	TPA Cipayung
Luas	10,1 ha
Jarak dari: <ul style="list-style-type: none"> - Pemukiman terdekat - Pusat kota - Sungai terdekat 	Bersebelahan di blok barat (+- 50 m) 10 km Pesanggrahan 10 m
Usia layanan (desain)	10 tahun (sampai tahun 2010)
Kondisi tanah	Lime/ berkapur
Topografi	Kemiringan <20%

Sumber: DKP Kota Depok, 2003

4.2 Struktur Organisasi TPA Cipayung

TPA Cipayung dipimpin oleh seorang Kepala Unit Pelaksana Teknis Dinas (UPTD) dengan struktur organisasi dalam TPA Cipayung sebagai berikut:



Gambar 4.1. Struktur Organisasi TPA Cipayung

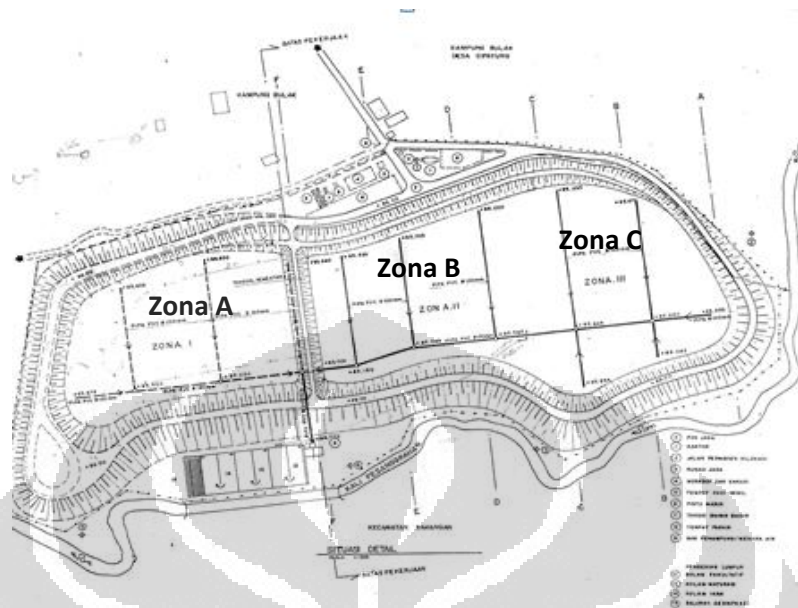
(TPA Cipayung, 2010)

4.3 Data Teknis TPA Cipayung

Data teknis meliputi penjelasan dan spesifikasi dari setiap zona wilayah timbunan (*landfill*) sampah yang berada di TPA Cipayung.

Area *landfill* dibagi ke dalam 4 zona besar yang dapat dibagi ke dalam lahan penimbunan lama dan baru . Lahan penimbunan lama meliputi Zona A,

Zona B, Zona C. Berikut ini merupakan skema dari lokasi kolam lama TPA Cipayung :



Gambar 4.2. Lokasi Zona A,B, dan C TPA Cipayung
(TPA Cipayung, 2010)

Sedangkan lokasi lahan penimbunan baru berada di sebelah utara kolam lama sesuai dengan gambar sebagai berikut :



Gambar 4.3. *Layout* TPA Cipayung
(Google Earth, 2010)

Keterangan :

1. Lahan timbunan baru
2. Lahan timbunan lama
3. Unit pengolahan sampah
4. Instalasi pengolahan lindi baru
5. Instalasi pengolahan lindi lama
6. Sungai Pesanggarahan

Berikut adalah rincian luas TPA dan kapasitasnya setelah Revisi AMDAL TPA Cipayung 2008/2009:

- Lahan timbunan (A, B, C)
 - Luas total area lahan penimbunan lama adalah 91.000.000 atau 9,1 ha
 - Luas areal penimbunan 61.000 m² atau 6,1 ha
 - Kedalaman penimbunan 16-23 m atau rata-rata 23,3 m
 - Kapasitas tampung 1.200.000 m²
- a. Kolam Baru
 - Luas areal penimbunan 6.174 m² atau 0,6174 ha
 - Kedalaman timbunan sejajar jalan 7,5 m dan 10,0 m. Kapasitas tampung 46.305-61.740 m³

4.4 Infrastruktur dan Fasilitas TPA Cipayung

Dibutuhkan infrastruktur dan fasilitas di TPA Cipayung yang digunakan untuk menunjang kegiatan pengelolaan sampah mulai dari pengangkutan sampah, pemilahan sampah, proses komposting, penimbunan sampah, hingga pengolahan air lindi. Pengolahan sampah TPA Cipayung dimudahkan dengan sebagian besar struktur tanah permukaan landfill berupa tanah liat yang mempunyai permeabilitas 10^{-7} cm/detik sehingga tidak diperlukan pelapisan kembali. Fungsi lapisan tersebut untuk menahan rembesan air lindi ke dalam tanah.

Infrastruktur yang dimiliki oleh TPA Cipayung antara lain sebagai berikut:

- a. Kantor TPA yang berfungsi sebagai tempat perencanaan, tata usaha, dan pengawasan sistem operasional TPA Cipayung.

- b. Pipa lindi pada lahan urugan berfungsi untuk mengalirkan air lindi menuju bangunan pengolahan. Pipa penyalur lindi dipasang di atas permukaan geomembran.
- c. Pipa gas dipasang pada lahan landfill setiap radius 50 m. Fungsi dari pipa gas ini adalah untuk mengalirkan gas yang terbentuk dari hasil dekomposisi sampah organik dan mencegah terakumulasi gas didalam landfill karena akan menimbulkan ledakan atau hal-hal lain yang tidak diinginkan seperti kebakaran.
- d. Drainase saluran pengering di TPA yang terdiri dari dua jenis meliputi drainase lindi yang terdapat di sepanjang pinggir landfill dan mengalir ke kolam lindi dan drainase air hujan yang terdapat di pinggir jalan akses dan drainase sementara pada lahan landfill diarahkan ke bak pengumpul.
- e. Kolam lindi (Instalasi pengolahan lindi)
Kolam lindi merupakan tempat penampungan lindi dari seluruh area *landfill*. Di kolam tersebut lindi diolah dengan tujuan untuk mengurangi konsentrasi pencemaran dalam lindi sampai ke tingkat yang aman untuk dibuang ke badan air terdekat yaitu Sungai Pesanggrahan. Sistem pengolahan yang diterapkan adalah dengan menggunakan kolam stabilisasi yang terdiri atas kolam anaerobik, kolam fakultatif, dan kolam maturasi.
- f. Infrastruktur lain yang dimiliki antara lain adalah berupa jalan, fasilitas alat berat, unit pengolahan sampah, kantor, gudang, rumah jaga, serta tempat cuci mobil dan tempat parkir untuk kendaraan operasional angkutan sampah.

Selain itu terdapat fasilitas-fasilitas yang digunakan untuk kegiatan operasional dalam pengolahan sampah yang masuk ke TPA setiap harinya. Fasilitas tersebut berupa:

- a. 2 unit buldozer
- b. 1 unit excavator
- c. *Track Loader*
- d. Truk Tronton

4.5 Operasional TPA Cipayung

Operasional TPA Cipayung dimulai dari pengangkutan sampah yang terletak di lokasi pengumpulan sampah secara komunal di wilayah Depok. Setelah sampai di lokasi TPA, dilakukan pemilahan sampah organik yang dapat dijadikan bahan pembuat kompos. Selain untuk dijadikan kompos, terdapat beberapa warga di sekitar TPA yang mengumpulkan sampah plastik untuk dijual kembali. Setelah itu sampah-sampah tersebut siap untuk ditimbun. Berikut ini merupakan penjelasan detail mengenai operasional TPA Cipayung :

a. Penerimaan dan Pendataan Sampah

Kegiatan penerimaan dan pendataan sampah diperlukan untuk mengevaluasi dan merencanakan pengembangan TPA. Pengukuran dapat dilakukan secara manual dengan cara mengukur ketinggian muatan sampah dalam kendaraan pengangkut. Data pengukuran selanjutnya dicatat oleh petugas dan dibukukan. Pencatatan disusun dalam bentuk tabulasi, meliputi hari, tanggal, jam kedatangan, jam pergi, nomor polisi truk, dan volume sampah.

b. Jadwal operasional penimbunan sampah

Waktu operasional penimbunan sampah dimulai pukul 7.00 WIB sampai 17.00.

c. Jadwal Pembongkaran sampah

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembongkaran sampah yaitu waktu pembongkaran sampah, transportasi pembongkaran, dan pola pembongkaran sampah. Waktu pembongkaran sampah dilakukan sebelum jam 15.00 WIB karena pada pukul 15.00-17.00 WIB akan dilakukan perataan dan pemadatan tanah penutup. Transportasi pembongkaran merupakan kegiatan memindahkan sampah dari dalam truk pengangkutan ke titik bongkar. Proses pengaturan pembongkaran sampah sangat berkaitan dengan kebutuhan personil di lapangan dan untuk mengantisipasi gundukan sampah yang lebih besar serta antrian kendaraan yang panjang di lokasi TPA. Mengantisipasi hal tersebut perlu dilakukan pengaturan antrian kendaraan dan jam kerja pembuangan. Sedangkan pola pembongkaran

sampah sangat dipengaruhi kondisi cuaca, seperti pembongkaran pada musim kemarau dan musim hujan.



Gambar 4.4. Proses Pembongkaran Sampah TPA Cipayung
(observasi Penulis, 2011)

d. Penggusuran Sampah

Penggusuran dilakukan dengan menggunakan buldozer. Pola penggusuran sampah sangat dipengaruhi kondisi cuaca, seperti penggusuran pada musim kemarau dan musim hujan. Penggusuran sampah pada musim kemarau dilakukan pada dasar landfill, sehingga alat berat bekerja lebih optimal. Penggusuran sampah pada musim hujan dapat dilakukan dari atas timbunan sampah.

e. Perataan dan Pematatan Sampah

Perataan dan pematatan sampah dilakukan dengan menggunakan alat berat yaitu truk loader. Perataan dilakukan setiap lapis dengan ketebalan 20-60 cm. Setelah sampah diratakan, dilakukan pematatan sampah dengan menggilas 3 -5 kali. Perataan dan pematatan dilakukan sampai ketebalan sampah 1,5 m.

f. Penutupan Sel Sampah Harian

Penutupan dilakukan dengan meratakan tanah setebal 25 cm di atas permukaan sel sampah, kemudian dilakukan penggilasan 2-3 kali lintasan hingga padat atau mencapai ketebalan 20 cm dengan kemiringan tanah pada sisi-sisi lahan TPA tidak lebih dari 30°.

g. Pengoperasian instalasi pengolahan lindi

Tujuan dan sasaran pengoperasian kolam lindi adalah untuk mengurangi polutan-polutan pencemar yang terkandung dalam lindi sehingga tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan.

4.6 Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Cipayung

Sebelum dibuang ke Sungai Pesanggrahan, lindi yang berasal dari *landfill* diolah agar konsentrasi pencemar air buangan tidak melampaui undang-undang yang ditentukan sehingga aman diterima oleh badan air yaitu Sungai Pesanggrahan. Di TPA Cipayung telah terpasang pipa-pipa pengumpul air lindi yang berada di bawah tanah lahan timbunan sampah untuk mengumpulkan air lindi yang meresap ke dalam tanah. Kemudian pipa tersebut mengalirkan lindi menuju IPAL secara gravitasi.

Sistem pengolahan air limbah berupa lindi di TPA Cipayung menggunakan kolam stabilisasi (*stabilization pond*). Bak-bak yang ada didesain dengan sistem sekat sehingga semakin banyak kontak dengan dinding dan memperbesar sedimen yang terbentuk. Setelah diolah dalam IPAL, air lindi yang telah lebih baik kualitasnya kemudian dialirkan menuju Sungai Pesanggrahan. Saat ini TPA Cipayung memiliki 2 unit IPAL. Secara umum, IPAL tersebut terdiri atas:

a. Kolam anaerobik

Merupakan kolam pertama pada IPAL dimana pengolahan kolam ini berlangsung tanpa kehadiran oksigen. Kolam anaerobik bertujuan untuk mengolah kandungan BOD tinggi yang berkisar di atas 300 mg/L BOD.

b. Kolam fakultatif

Pada kolam fakultatif terdapat 3 lapisan kolam yaitu bagian atas merupakan kondisi aerob dimana pengolahan berlangsung dengan adanya kehadiran oksigen, fakultatif bagian tengah, dan anaerob pada bagian dasar kolam. Kolam ini mampu mengolah limbah yang memiliki beban sekitar 100-400 mg/L BOD.

c. Kolam maturasi

Kolam maturasi merupakan kolam dangkal dengan kedalaman 1-1,5 m yang didesain untuk mendegradasi kandungan mikroorganisme patogen seperti *Escherichia coli*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Trichomonas vaginalis*. Jumlah dan ukuran kolam maturasi yang dibangun sangat bergantung pada kualitas bakteriologis air buangan yang ingin dicapai. Kondisi kolam yang dangkal menyebabkan kolam ini hampir tidak memiliki stratifikasi secara vertikal dan oksigen terlarut terdapat pada keseluruhan kolom air. Keanekaragaman jenis alga pada kolam maturasi jauh lebih tinggi daripada kolam fakultatif (Curtis *et al.*, 1994, Varon, 2003)

Setelah melakukan survey, diperoleh gambar dari instalasi pengolahan lindi TPA Cipayung sebagai berikut:



Gambar 4.5. Instalasi Pengolahan Lindi 2 TPA Cipayung
(Observasi Penulis, 2011)



Gambar 4.6. Instalasi Pengolahan Lindi 2 TPA Cipayung
(Observasi Penulis, 2011)

4.7 Lokasi Pengambilan Data Primer

Lokasi pengambilan data primer seperti konsentrasi total nitrogen lindi berada di Instalasi Pengolahan Lindi 2 TPA Cipayung. Pengambilan sampel dilakukan tepat pada saat lindi menuju Sungai Pesanggrahan dimana Sungai Pesanggrahan itu sendiri diperuntukan sebagai sarana perikanan berdasarkan (BPLHD, 2002).

Insatalasi pengolahan lindi kurang diperhatikan oleh pihak TPA, terlihat masih adanya sampah yang ada pada kolam lindi. Selain itu efektifitas pengolahan lindi kurang baik yang ditunjukkan dengan konsentrasi COD pada efluen lindi sebesar 3328 mg/L.



Gambar 4.7. Kondisi Lindi pada Instalasi Pengolahan Lindi 2
(Observasi Penulis, 2011)

Untuk data konsentrasi total nitrogen pada badan air penerima, sampel diambil di Sungai Pesanggrahan dengan titik sebelum dan setelah adanya buangan lindi TPA Cipayung. Titik sebelum adanya buangan lindi digunakan untuk mengetahui konsentrasi total nitrogen di badan air penerima secara alami, sedangkan sampel yang diambil setelah adanya buangan lindi digunakan sebagai data observasi yang hasilnya akan dibandingkan dengan konsentrasi total nitrogen yang diperoleh dari pemodelan.



Gambar 4.8. Sungai Pesanggrahan Sebagai Badan Air Penerima Buangan
Lindi TPA Cipayung
(Observasi Penulis, 2011)

BAB 5

HASIL DAN PENGOLAHAN DATA

5.1 Hasil dan Pengolahan Data Komponen Model

Data komponen model berupa data primer yang diperoleh dari pengukuran di lapangan yaitu TPA Cipayung dan Sungai Pesanggrahan serta data sekunder yang berasal dari pihak TPA Cipayung, buku, serta jurnal yang berhubungan dengan data yang dimaksud.

Data komponen model yang diperoleh untuk membuat total nitrogen akibat buangan lindi yang dibuang secara impuls dengan waktu penutupan saluran lindi selama 30 menit yaitu debit lindi TPA Cipayung, konsentrasi total nitrogen lindi, debit dan kecepatan Sungai Pesanggrahan, konsentrasi nitrogen total di Sungai Pesanggrahan, laju peluruhan total nitrogen, dan koefisien dispersi Sungai Pesanggrahan.

5.1.1 Debit Lindi TPA Cipayung

Untuk menentukan debit lindi, data yang diperlukan berupa kecepatan lindi (v) dan luas *cross section* dari lindi yang mengalir. Kecepatan dan luas *cross section* dari lindi diperoleh dari pengukuran di saluran lindi sebelum lindi jatuh ke Sungai Pesanggrahan. Berikut ini merupakan tabel pengambilan data kecepatan, kedalaman aliran lindi, lebar saluran lindi, dan luas *cross section* lindi pada saluran lindi:

Tabel 5.1. Data Pengukuran Debit Lindi

Kecepatan (m/s)	Kedalaman lindi (m)	Lebar Saluran Lindi (m)	Luas (A_c) (m^2)
0,385	0,01	0,5	0,005
0,345	0,01	0,5	0,005
0,357	0,01	0,5	0,005
0,357	0,01	0,5	0,005
0,370	0,01	0,5	0,005

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Dengan persamaan $Q = v.A_c$, rata-rata debit lindi di TPA Cipayung adalah sebagai berikut.

Tabel 5.2. Perhitungan Rata-Rata Debit Lindi

Kecepatan (v) (m/s)	Luas (A_c) (m ²)	Debit (Q) (m ³ /s)
0,385	0,005	0,001925
0,345	0,005	0,001725
0,357	0,005	0,001785
0,357	0,005	0,001785
0,37	0,005	0,00185
Rata-rata debit lindi		0,001814

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

5.1.2 Konsentrasi Total Nitrogen Lindi

Konsentrasi total nitrogen lindi diperoleh dari pengukuran di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan UI dengan Metode Kjehdahl berdasarkan persamaan (3.4.2) sesuai dengan JIS (*Japan International Standard*).

$$N = a \times f_1 \times 0,7766 + b \times f_2 \times 0,7766 \quad (3.4.2)$$

dimana :

N : total nitrogen (mg-N/L)

a : amonium yang diukur setelah proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄/L)

b : amonium yang diukur tanpa proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄/L)

f_1 : faktor pengenceran prosedur a sebesar 5 kali

f_2 : faktor pengenceran prosedur b sebesar 100 kali

0,7766 : faktor konversi ion amonia menjadi nitrogen berdasarkan massa molekul relatif nitrogen terhadap amonia yaitu 14,01/18,04

Sedangkan data- data hasil pengecekan total nitrogen lindi di lapangan yaitu:

Tabel 5.3. Data Pengukuran Total Nitrogen Lindi

A	b
0,15	1,36
0,15	1,36

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan total nitrogen sehingga diperoleh nilai rata-rata dari total nitrogen pada lindi :

Tabel 5.4. Hasil Pengukuran Total Nitrogen Lindi

No	N-Total (mg-N/L)
1.	106,2
2.	106,2
Rata-rata	106,2

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

5.1.3 Debit Sungai Pesanggrahan

Debit Sungai Pesanggrahan diukur dengan alat *current meter*. *Current meter* diletakan pada tiga titik di sungai yaitu satu titik di tengah dan kedua titik di tepi sungai. Hal tersebut dilakukan karena debit sungai berbeda pada bagian tengah dan tepi sungai. Berikut ini merupakan data ata-rata debit Sungai Pesanggrahan yang diperoleh setiap 15 detik pada alat *current meter* :

Tabel 5.5. Data Pengukuran Debit Sungai

Lebar sungai	Kedalaman (H)	Kecepatan			Luas Penampang	Debit	
		(m/s)				(m²)	(m³/s)
7,6	0,43	0,4590	v ₁	0,6474	0,817	0,528952	2,855356
		0,7220					
		0,7612					
	0,65	0,6269	v ₂	0,6195	2,47	1,530053	
		0,5989					
		0,6325					
	0,64	0,5933	v ₃	0,6549	1,216	0,79635	
		0,6549					
		0,6549					

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Bila dikonversi menjadi m^3/hari , maka debit Sungai Pesanggrahan adalah 246702,75 menjadi m^3/hari

5.1.4 Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Pesanggrahan

Sampel diambil dari titik sebelum efluen lindi TPA Cipayung dibuang ke Sungai Pesanggrahan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan sebelum ada beban total nitrogen dari lindi. Pemeriksaan konsentrasi total nitrogen menggunakan Metode Kjeldahl berdasarkan JIS sesuai dengan persamaan (3.4.2). Namun tidak dilakukan pengenceran sampel pada proses b karena konsentrasi ion amonium pada sungai relative rendah. Berikut ini data yang diperoleh dari pemeriksaan total nitrogen di Sungai Pesanggrahan :

Tabel 5.6. Data Pengukuran Total Nitrogen Sungai Pesanggrahan

A	b
0,09	0,73
0,07	0,71

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Setelah diolah ke dalam persamaan (3.4.2), diperoleh nilai total nitrogen di Sungai Pesanggrahan yaitu sebagai berikut.

Tabel 5.7. Hasil Pengukuran Total Nitrogen Sungai Pesanggrahan

No	N-Total (mg/L)
1.	0,916388
2.	0,823196
Rata-rata	0,869792

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Untuk konsentrasi total nitrogen pada titik pencampuran antara lindi dan Sungai Pesanggrahan (konsentrasi pada saat $i = 0$ dan $l = 0$) tidak dapat dilakukan perhitungan secara analitik berdasarkan persamaan (2.4.9) karena nilai yang diperoleh dari perhitungan tersebut lebih kecil daripada konsentrasi total nitrogen pada jarak $i=1$ yang diperoleh dari model konsentrasi terhadap jarak dengan

kondisi *steady state* (*initial condition*). Oleh karena itu nilai dari c_0 (konsentrasi pada saat $i=0$ dan $l=0$) diperoleh dari nilai ekstrapolasi antara konsentrasi pada saat $i=1$ dan $i=2$ pada $l=0$. Variabel i menunjukkan dimensi jarak sedangkan l menunjukkan dimensi waktu.

5.1.5 Laju Peluruhan (*Decay Rate*) Total Nitrogen

Data laju peluruhan total nitrogen digunakan untuk mengetahui besarnya koefisien peluruhan total nitrogen secara alami di badan air. Nilai laju peluruhan ini bergantung pada suhu. Saat pengambilan sampel, suhu air berkisar normal mencapai 25°C. Laju peluruhan ini diperoleh dari pengukuran di laboratorium dengan mengambil sampel berupa air di Sungai Pesanggarahan sebelum adanya minput lindi TPA Cipayung. Sampel tersebut diperiksa 5 hari berturut-turut pada waktu yang sama sehingga diketahui besarnya penurunan konsentrasi total nitrogen per harinya. Berikut ini merupakan data penurunan konsentrasi nitrogen dalam waktu 5 hari:

Tabel 5.8. Data Pengukuran Laju Peluruhan Total Nitrogen

t (hari)	c
1	0,869792
2	0,706706
3	0,605748
4	0,434896
5	0,341704

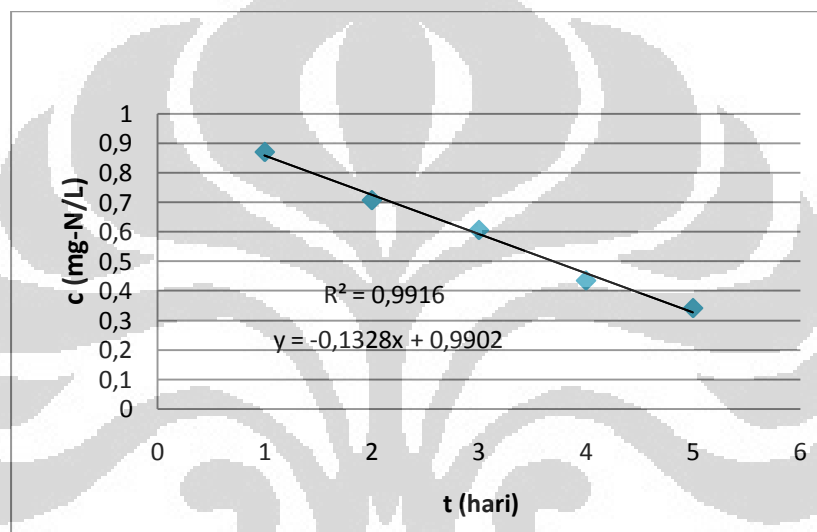
Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Untuk menentukan orde reaksi dan nilai laju peluruhan total nitrogen, diperoleh dengan memplot data pada tabel 5.8 ke dalam grafik reaksi orde nol, satu, dan dua masing-masing terhadap waktu. Dari ketiga grafik tersebut dapat dilihat simpangan data yang terjadi. Grafik yang memiliki simpangan data terkecil merupakan jenis orde dari reaksi peluruhan total nitrogen. Sedangkan besarnya laju peluruhan ditentukan dari nilai kemiringan garis pada grafik. Berikut ini merupakan grafik reaksi orde nol, satu, dan dua dari data penurunan total nitrogen.

Tabel 5.9. Data Reaksi Orde Nol

t (hari)	c
1	0,869792
2	0,706706
3	0,605748
4	0,434896
5	0,341704

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011



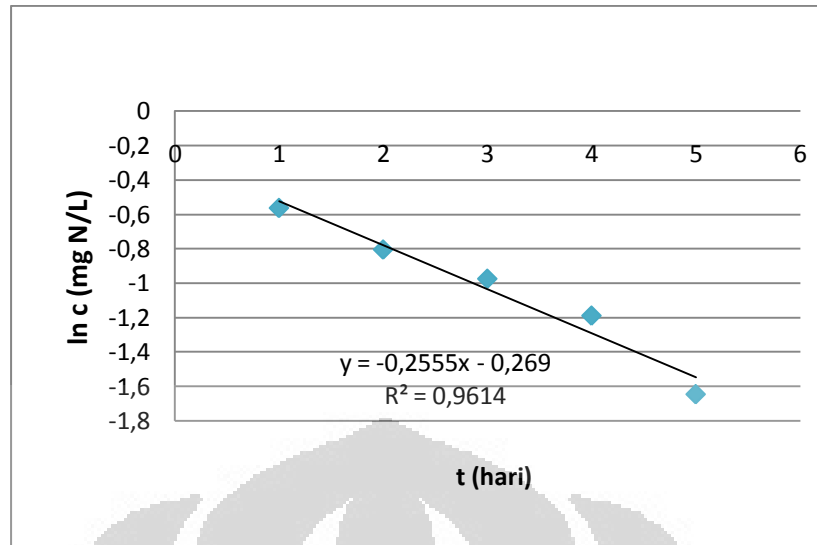
Gambar 5.1. Grafik Reaksi Orde Nol

(Pengolahan Penulis, 2011)

Tabel 5.10. Data Reaksi Orde Satu

t (hari)	ln c
1	-0,1395012
2	-0,3471405
3	-0,5012912
4	-0,8326484
5	-1,0738104

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

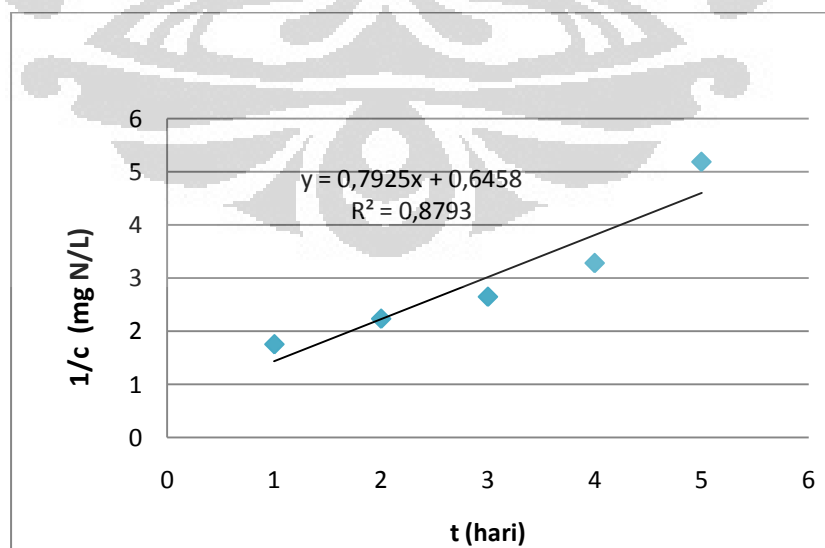


Gambar 5.2. Grafik Reaksi Orde Satu
(Pengolahan Penulis, 2011)

Tabel 5.11. Data Reaksi Orde Dua

t (hari)	1/c
1	1,14970016
2	1,41501558
3	1,65085151
4	2,29940032
5	2,92650949

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011



Gambar 5.3. Grafik Reaksi Orde Dua
(Pengolahan Penulis, 2011)

Dari ketiga grafik di atas, reaksi orde nol paling mendekati data penurunan konsentrasi total nitrogen dengan nilai $R^2 = 0,9916$. Maka dapat disimpulkan bahwa reaksi tersebut berlangsung dengan orde nol dan laju peluruhan konsentrasi total nitrogen pada suhu 25°C diperoleh dari nilai kemiringan garis sebagai berikut.

$$y = -0,1328x + 0,9902$$

$$-k = -0,1328$$

$$k = 0,1328$$

Satuan untuk reaksi yang berjalan dengan orde nol yaitu mg/L-hari.

5.1.6 Koefisien Dispersi Sungai Pesanggrahan

Komponen yang dibutuhkan dalam perhitungan koefisien dispersi sungai yaitu debit, kemiringan dasar sungai (*slope*), dan lebar sungai sesuai dengan persamaan (2.4.2) yaitu :

$$E = 0,05937 \frac{Q}{SB} \quad (2.4.2)$$

dengan :

Q : debit Sungai Pesanggrahan + debit lindi (m^3/hari)

S : kemiringan dasar sungai

B : lebar sungai (m)

Kemiringan dasar sungai dihitung dengan persamaan (3.4.3) dengan penentuan ketinggian dasar sungai diperoleh dari Google Earth dan panjang Sungai Pesanggrahan yang dimodelkan sebesar 100 m. Berikut ini merupakan perhitungan kemiringan dasar sungai.

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (3.4.3)$$

$$S = \frac{5m}{100m} = 0,05$$

Dengan mensubstitusikan nilai kemiringan dasar sungai ke dalam persamaan (2.4.2), koefisien dispersi Sungai Pesanggrahan adalah sebagai berikut.

$$E = 0,05937 \frac{246702,75 \text{ m}^3 / \text{hari}}{(0,05) \times (7,6m)} = 38544,05 \text{ m}^2 / \text{hari}$$

5.2 Penyusunan Model

Model yang akan dibuat dari komponen model yang telah dihitung yaitu model konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat beban lindi TPA Cipayung secara impuls berdasarkan perubahan jarak dan waktu menggunakan Metode *Finite Difference-Runge Kutta*. Metode *Finite Difference-Runge Kutta* dengan *forward time* merupakan metode numerik yang digunakan untuk memprediksi konsentrasi berdasarkan perubahan jarak (c_{i+n}^l) dan waktu (c_i^{l+n}) ke depan dengan mengetahui konsentrasi awal dari badan air yang akan dimodelkan. Metode ini merupakan metode numerik yang umum digunakan dalam pemodelan kualitas air permukaan karena memiliki hasil yang lebih teliti mengingat Runge Kutta merupakan pengembangan dari Metode Euler dan Heun.

Untuk mempermudah memodelkan konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat beban lindi secara impuls, dilakukan tahap-tahap sebagai berikut :

5.2.1 Penentuan keseimbangan massa (*mass balance*) sungai

Pemodelan konsentrasi di sungai dapat dilakukan dengan pendekatan *Mixed-Flow Reactor* (MFR). MFR merupakan reaktor yang memperhitungkan terjadinya dispersi dan adveksi di dalam reaktor tersebut. Karena aliran pada sungai merupakan jenis turbulen sehingga dapat dipastikan terjadi dispersi pada senyawa yang masuk ke dalam sungai. Untuk parameter total nitrogen, terjadi peluruhan senyawa tersebut di dalam perairan yang dihitung secara total dan telah melibatkan reaksi-reaksi lain yang dialami oleh nitrogen pada perairan seperti amonifikasi dan nitrifikasi. Sehingga persamaan keseimbangan massa di sungai sesuai dengan persamaan (3.4.1).

$$\Delta V \frac{dc}{dt} = -UA_c \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + EA_c \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \Delta x - k\Delta V \bar{c} + W \quad (3.4.1)$$

(Akumulasi = Adveksi + Dispersi + Reaksi + Beban)

Nilai dari setiap konstanta keseimbangan massa pada Sungai Pesanggrahan adalah :

U : kecepatan sungai (m/hari)

$$= 0,64 \text{ m/detik} \times 86400 \text{ detik/hari} = 55296 \text{ m/hari}$$

Δx : perubahan jarak (m)

$$= 5 \text{ m}$$

A_c : luas *cross section* sungai (m^2)

$$= B \times H = 7,6 \text{ m} \times 0,573 \text{ m} = 4,3548 \text{ m}^2$$

ΔV : volume setiap segmen sungai (m^3)

$$= A_c \cdot \Delta x = 4,3548 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m} = 21,774 \text{ m}^3$$

E : koefisien dispersi sungai (m^2/hari)

$$= 38544,05 \text{ m}^2/\text{hari}$$

k : laju peluruhan total nitrogen orde nol (mg-N/L)

$$= 0,1328 \text{ mg-N/L-hari}$$

W : beban total nitrogen selama 1 hari (gr-N/hari)

$$= 246859,48 \text{ m}^3/\text{hari} \times 106,2 \text{ gr-N/m}^3 = 16644,69 \text{ gr-N/ hari}$$

5.2.2 Pemodelan konsentrasi total nitrogen berdasarkan perubahan jarak dan waktu dengan Metode Finite Difference-Runge Kutta

Konsep pemodelan numerik dengan menggunakan Metode *Finite Difference* ialah mengubah persamaan diferensial menjadi bentuk lain yang lebih sederhana sehingga dapat dihitung melalui komputer. Dari persamaan keseimbangan massa di sungai secara analitik sesuai dengan persamaan (3.4.1), diubah menjadi perhitungan secara numerik dengan pendekatan *Finite Difference* sesuai dengan persamaan (3.4.4) sebagai berikut.

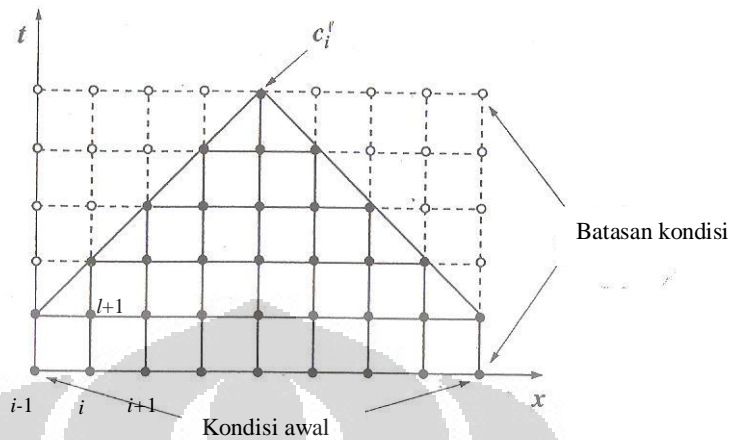
$$\Delta V \frac{c_i^{l+1} - c_i^l}{\Delta t} = -UA_c \frac{c_{i+1}^l - c_{i-1}^l}{2\Delta x} \Delta x + EA_c \frac{c_{i+1}^l - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} \Delta x - k\Delta V c_i^l + W_i^l \quad (3.4.4)$$

Dimana i menunjukkan variabel jarak dan l merupakan variabel waktu. Jika kedua ruas dibagi dengan $\Delta V = A_c \cdot \Delta x$, maka persamaan keseimbangan massa di sungai sesuai dengan persamaan (3.4.5).

$$\frac{c_i^{l+1} - c_i^l}{\Delta t} = -U \frac{c_{i+1}^l - c_{i-1}^l}{2\Delta x} + E \frac{c_{i+1}^l - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} - kc_i^l + \frac{W_i^l}{V} \quad (3.4.5)$$

Dari persamaan di atas, untuk menghitung konsentrasi pada c_i^{l+1} dibutuhkan data konsentrasi saat c_{i+1}^l, c_i^l dan c_{i-1}^l . Jika digambarkan pada sketsa

jarak dan waktu di bawah ini, dapat dilihat bahwa untuk menghitung konsentrasi saat $t = l + 1$ membutuhkan konsentrasi di titik $x = i - 1$, $x = i$ dan $x = i + 1$.



Gambar 5.4. Representasi Pendekatan *Finite Difference*

(Chapra, 1997)

Sedangkan Metode Runge-Kutta sendiri dihitung untuk menghitung c_i^{l+1} dengan pendekatan estimasi gradien hingga orde empat. Konsep dari metode ini adalah menghitung konsentrasi pada jarak dan waktu berikutnya dengan menggunakan data konsentrasi awal dan memasukkannya pada persamaan diferensial yang telah diubah secara numerik dengan pendekatan *Finite Difference*. Sehingga bila digabungkan kedua metode diatas, pemodelan ini akan dibuat dengan Metode *Finite Difference-Runge Kutta*. Berikut ini merupakan tahap-tahap memodelkan konsentrasi total nitrogen dengan Metode *Finite Difference-Runge Kutta*.

5.2.2.1 Penentuan *initial condition* dengan variabel jarak

Penentuan *initial condition* yang dimaksud adalah memprediksikan perubahan konsentrasi terhadap perubahan jarak dengan kondisi *steady state* dimana perubahan terhadap waktu tidak diperhitungkan. Data konsentrasi ini digunakan dalam memodelkan konsentrasi berdasarkan perubahan waktu dan jarak dengan kondisi *unsteady*. Penentuan kondisi awal menggunakan pendekatan volume kontrol sehingga sungai diibaratkan berupa reaktor memanjang yang dibagi ke dalam beberapa segmen.

Keseimbangan massa yang terjadi pada setiap segmen dalam keadaan *steady* sesuai dengan persamaan (2.4.36) yaitu :

$$0 = W_i + Q_{i-1,i}c_{i,i-1} - Q_{i,i+1}c_i + E'_{i-1,i}(c_{i-1} - c_i) + E'_{i,i+1}(c_{i+1} - c_i) - k_i V_i c_i \quad (2.4.36)$$

Perhitungan konsentrasi pada segmen dengan persamaan keseimbangan massa di atas menggunakan persamaan (2.4.42) dengan jumlah segmen yang dihitung sebanyak 20 buah.

$$[A]\{c\} = \{W\} \quad (2.4.42)$$

dimana A adalah nilai asimilasi, c merupakan konsentrasi terhadap perubahan jarak yang dicari, dan W merupakan beban lindi secara impuls. Sebelum dilakukan pemodelan jarak dalam kondisi *steady state*, terlebih dahulu ditentukan komponen model yang dibutuhkan sebagai berikut:

Diketahui:

$$Q_0 : Q \text{ lindi} + Q \text{ sungai (m}^3/\text{hari)} \\ = 246859,488 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$U : \text{kecepatan sungai (m/hari)} \\ = 0,64 \text{ m/s} \times 86400 \text{ s/hari} = 55296 \text{ m/hari}$$

$$L : \text{panjang sungai yang dimodelkan (m)} \\ = 100 \text{ m}$$

$$n : \text{jumlah segemen (buah)} \\ = 20 \text{ segmen}$$

$$E : \text{koefisien dispersi (m}^2/\text{hari)} \\ = 38544,05 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$E' : \text{bulk coefficient untuk dispersi} \\ = (E \times A_c) / \Delta x = (38544,05 \text{ m}^2/\text{hari} \times 4,3548 \text{ m}^2) / 5 \text{ m} = 33570,33 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$A_c : \text{luas cross section sungai (m}^2) \\ = 4,3548 \text{ m}^2$$

$$V : \text{volume tiap segmen di sungai (m}^3) \\ = A_c \cdot \Delta x = 4,3548 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m} = 21,774 \text{ m}^3$$

$$k : \text{laju peluruhan total nitrogen orde nol (mg-N/L-hari)} \\ = 0,1328 \text{ mg-N/L-hari}$$

W : beban total nitrogen dari lindi TPA Cipayung (gram-N/hari)
 = 16644,69136 gram-N/hari

Selanjutnya dihitung nilai A (asimilasi) pada tiap segmen sungai sesuai dengan letaknya pada matriks, dimana :

$$a_{i,i-1} = -Q_{i-1,i} - E'_{i-1,i} \quad (2.4.39)$$

$$a_{i,i} = Q_{i,i+1} + E'_{i-1,i} + E'_{i,i+1} + k_i V_i \quad (2.4.40)$$

$$a_{i,i+1} = -E'_{i,i+1} \quad (2.4.41)$$

Sebagai contoh :

$$a_{1,2} = -33591,662$$

$$a_{2,1} = -(246859,488 + 33570,33) = -280451,15$$

$$a_{1,1} = 246706,0236 + 33570,33 + (0,1328 \times 21,774) = 280454,04$$

Komponen model yang telah diketahui tersebut dimasukan ke dalam matriks 20 x 20 yang terlampir pada lampiran 1 sehingga diperoleh konsentrasi total nitrogen terhadap perubahan jarak dengan kondisi *steady state* yang telah dijumlah dengan konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan itu sendiri adalah sebagai berikut.

Tabel 5.12. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak dengan Kondisi *Steady State*

i	x	c (mg-N/L)
0	0	
1	5	0,067424874
2	10	0,067424084
3	15	0,067423294
4	20	0,067422505
5	25	0,067421715
6	30	0,067420925
7	35	0,067420135
8	40	0,067419346
9	45	0,067418556
10	50	0,067417766
11	55	0,067416977
12	60	0,067416187
13	65	0,067415397
14	70	0,067414608
15	75	0,067413818

16	80	0,067413028
17	85	0,067412239
18	90	0,067411451
19	95	0,067410672
20	100	0,067409977

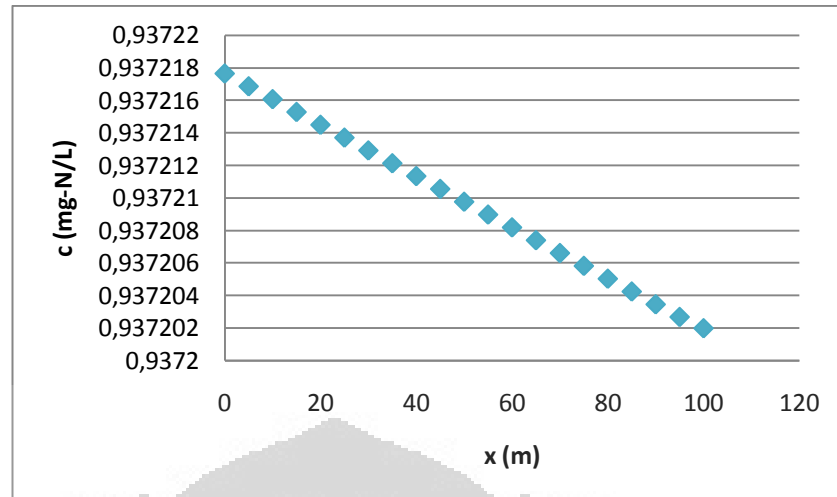
Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Selanjutnya hasil yang diperoleh pada tabel 5.12 akan dijumlahkan dengan konsentrasi total nitrogen di sungai sebesar 0,869792 mg-N/L. Sehingga konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan sebagai berikut.

Tabel 5.13. Total Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak dengan Kondisi *Steady State*

i	x	c total
0	0	
1	5	0,937216874
2	10	0,937216084
3	15	0,937215294
4	20	0,937214505
5	25	0,937213715
6	30	0,937212925
7	35	0,937212136
8	40	0,937211346
9	45	0,937210556
10	50	0,937209766
11	55	0,937208977
12	60	0,937208187
13	65	0,937207397
14	70	0,937206608
15	75	0,937205818
16	80	0,937205028
17	85	0,937204239
18	90	0,937203451
19	95	0,937202672
20	100	0,937201977

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011



Gambar 5.5. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Dalam Kondisi *Steady State*
(Pengolahan Penulis, 2011)

Konsentrasi total nitrogen pada titik pencampuran lindi dengan Sungai Pesanggrahan ($i=0$, $l=0$) diperoleh dengan cara ekstrapolasi konsentrasi total nitrogen pada saat $i = 1$ dan $i=2$ sehingga diperoleh konsentrasi pada titik pencampuran sebesar 0,937217664 mg-N/L.

5.2.2.2 Penentuan model konsentrasi terhadap jarak dan waktu dengan Metode *Finite Difference-Runge Kutta*

Konsentrasi total nitrogen yang diperoleh dari *initial condition* merupakan konsentrasi pada saat $t = 0$ ($l = 0$) dan $x = i = 1, 2, 3, \dots, 20$. Data tersebut digunakan sebagai acuan untuk memodelkan konsentrasi total nitrogen dengan beban impuls terhadap perubahan jarak dan waktu dengan Metode *Finite Difference-Runge Kutta*. Pemodelan antara perubahan jarak dan waktu dilakukan secara bersamaan. Jika diambil salah satu contoh yaitu untuk menghitung konsentrasi total nitrogen pada $i=1$ dalam kondisi *unsteady* pada saat ($l = 1$) menggunakan Metode *Finite Difference-Runge Kutta* yang dijabarkan dalam persamaan (2.4.31) sebagai berikut :

$$c_{i+1}^l = c_i^l + \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] \Delta t \quad (2.4.31)$$

Karena beban lindi yang masuk ke Sungai Pesanggarahan merupakan jenis impuls, tanda positif untuk nilai *slope* berubah menjadi negatif sehingga konsentrasi akan berkurang terhadap perubahan jarak dan waktu (Chapra, 1997).

$$c_{i+1}^l = c_i^l - \left[\frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] \Delta t \quad (3.4.6)$$

Untuk memperoleh nilai slope (k_1 , k_2 , k_3 , dan k_4) dibutuhkan persamaan keseimbangan massa yang terjadi di sungai setelah l dan $i = 0$ yaitu :

$$f(t, c) = \frac{c_{i+1}^l - c_i^l}{\Delta t} = -U \frac{c_{i+1}^l - c_{i-1}^l}{2\Delta x} + E \frac{c_{i+1}^l - 2c_i^l + c_{i-1}^l}{\Delta x^2} - kc_i^l$$

Untuk kestabilan model dibutuhkan syarat penentuan perubahan waktu (Δt) yang tepat sesuai dengan persamaan (3.4.12).

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{U} = \frac{5m}{55296m/hari} = 9,0422 \times 10^{-5} \text{ hari} = 7,8125 \text{ det ik}$$

Setelah itu, dapat dihitung nilai *slope* yang akan digunakan untuk menghitung konsentrasi terhadap perubahan waktu. Berikut ini merupakan contoh dari perhitungan numerik Metode Runge–Kutta untuk mencari nilai konsentrasi saat $l=1$ dan $i=1$ (c_{i+1}^l):

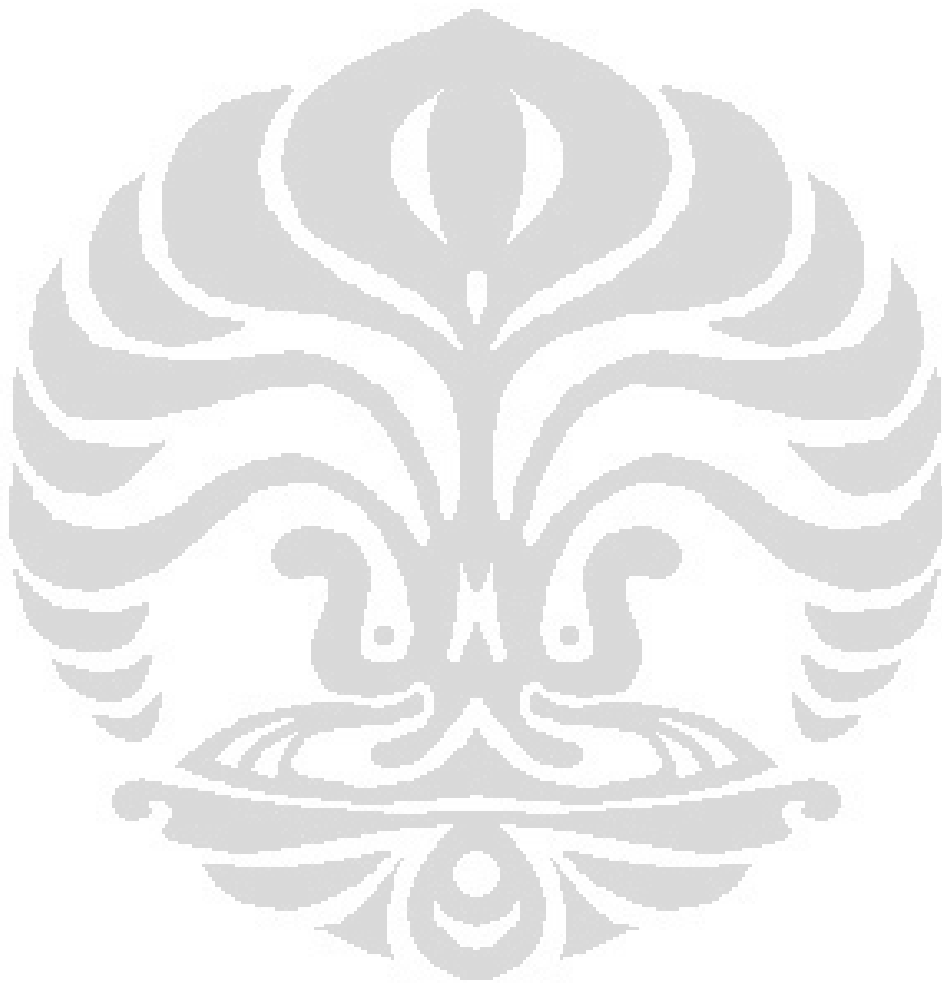
$$\begin{aligned} k_1 &= f(t_1, c_1) \\ &= 55296 \frac{0,937216084 - 0,93721664}{2 \times 5} + 38568,54 \frac{0,937216084 - 2 \times 0,937216874 + 0,937217664}{5^2} - \\ &\quad 0,1328 \times 0,937216874 = 1445,767 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_2 &= f\left(t_i + \frac{1}{2}h, c_i + \frac{1}{2}hk_1\right) \\ &= 55296 \frac{(0,93721684 + 0,5 \times 7,8125 \times 10^{-5} \times 1445,767) - (0,937217664 + 0,5 \times 7,8125 \times 10^{-5} \times 1445,767)}{2 \times 5} \\ &\quad + 38568,54 \left[\frac{(0,937216084 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1445,767)}{5^2} \right] - \\ &\quad + 38568,54 \left[2 \frac{(0,937216874 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1445,767)}{5^2} \right] - \\ &\quad 38568,54 \frac{(0,937217664 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1445,767)}{5^2} - \\ &\quad 0,1328(0,937216874 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1445,767) = 1546,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_3 &= f\left(t_i + \frac{1}{2}h, c_i + \frac{1}{2}hk_2\right) \\
&= 55296 \frac{(0,93721684 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1546,6) - (0,937217664 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1546,6)}{2 \times 5} \\
&\quad + 38568,54 \left[\frac{(0,937216084 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1546,6)}{5^2} \right] - \\
&\quad + 38568,54 \left[2 \frac{(0,937216874 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1546,6)}{5^2} \right] - \\
&\quad 38568,54 \frac{(0,937217664 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1546,6)}{5^2} - \\
&\quad 0,1328(0,937216874 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1546,6) = 1040,17 \\
k_4 &= f(t_i + h, c_i + hk_3) \\
&= 55296 \frac{(0,93721684 + 9,0422 \times 10^{-5} \times 1040,17) - (0,937217664 + 9,0422 \times 10^{-5} \times 1040,17)}{2 \times 5} \\
&\quad + 38568,54 \left[\frac{(0,937216084 + 9,0422 \times 10^{-5} \times 1040,17)}{5^2} \right] - \\
&\quad + 38568,54 \left[2 \frac{(0,937216874 + 9,0422 \times 10^{-5} \times 1040,17)}{5^2} \right] - \\
&\quad 38568,54 \frac{(0,937217664 + 0,5 \times 9,0422 \times 10^{-5} \times 1040,17)}{5^2} - \\
&\quad 0,1328(0,937216874 + 0,5 \times 7,8125 \times 10^{-5} \times 1040,17) = 1590,857 \\
c_{i+1} &= c_i - \left[\frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] h \\
&= 0,937216874 - \left[\frac{1}{6}(1445,76 + 2 \times 1546,6 + 2 \times 1040,17 + 1590,857) \right] \times 7,8125 \times 10^{-5} \\
c_{i+1} &= 0,81356982 \text{ mg - N/L}
\end{aligned}$$

Jadi, konsentrasi pada $i=1$ dan $l=1$ yaitu 0,81356982 mg-N/L. Cara tersebut dilakukan kembali untuk mencari konsentrasi saat ($i+2$, $i+3$, ..., $i=20$) untuk setiap ($l=2$), ($l=3$), dst. Secara otomatis, jika perhitungan tersebut dilakukan, maka dapat diperoleh nilai konsentrasi total nitrogen terhadap perubahan waktu. Berikut ini

merupakan tabel konsentrasi terhadap perubahan waktu dan jarak dengan menggunakan metode numerik *Finite Difference-Runge Kutta* .



Tabel 5.14 Konsentrasi Total Nitrogen Berdasarkan Perubahan Jarak dan Waktu

c mg-N/L	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8	l=9	l=10
i=0	0,9372177										
i=1	0,9372169	0,81356982									
i=2	0,9372161	0,81356913	0,70623493								
i=3	0,9372153	0,81356845	0,70623434	0,61306082							
i=4	0,9372145	0,81356776	0,70623374	0,61306030	0,53217923						
i=5	0,9372137	0,81356708	0,70623315	0,61305978	0,53217879	0,46196842					
i=6	0,9372129	0,81356639	0,70623255	0,61305927	0,53217834	0,46196803	0,40102057				
i=7	0,9372121	0,81356571	0,70623196	0,61305875	0,53217789	0,46196764	0,40102024	0,34811362			
i=8	0,9372113	0,81356502	0,70623136	0,61305823	0,53217744	0,46196725	0,40101990	0,34811333	0,30218673		
i=9	0,9372106	0,81356434	0,70623077	0,61305772	0,53217699	0,46196686	0,40101956	0,34811304	0,30218647	0,26231900	
i=10	0,9372098	0,81356365	0,70623017	0,61305720	0,53217654	0,46196647	0,40101922	0,34811274	0,30218622	0,26231878	0,22771105
i=11	0,937209	0,81356297	0,70622958	0,61305668	0,53217610	0,46196609	0,40101888	0,34811245	0,30218596	0,26231856	
i=12	0,9372082	0,81356228	0,70622898	0,61305617	0,53217565	0,46196570	0,40101855	0,34811216	0,30218571		
i=13	0,9372074	0,81356159	0,70622839	0,61305565	0,53217520	0,46196531	0,40101821	0,34811186			
i=14	0,9372066	0,81356091	0,70622779	0,61305513	0,53217475	0,46196492	0,40101787				
i=15	0,9372058	0,81356022	0,70622720	0,61305462	0,53217430	0,46196453					
i=16	0,937205	0,81355954	0,70622660	0,61305410	0,53217386						
i=17	0,9372042	0,81355885	0,70622601	0,61305360							
i=18	0,9372035	0,81355817	0,70622543								
i=19	0,9372027	0,81355753									
i=20	0,937202										

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Dari tabel konsentrasi di atas, selanjutnya dibuat grafik dari setiap variabel i (jarak) dan l (waktu) sehingga dapat terlihat bentuk grafik dari penurunan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dan waktu dengan beban lindi secara impuls.

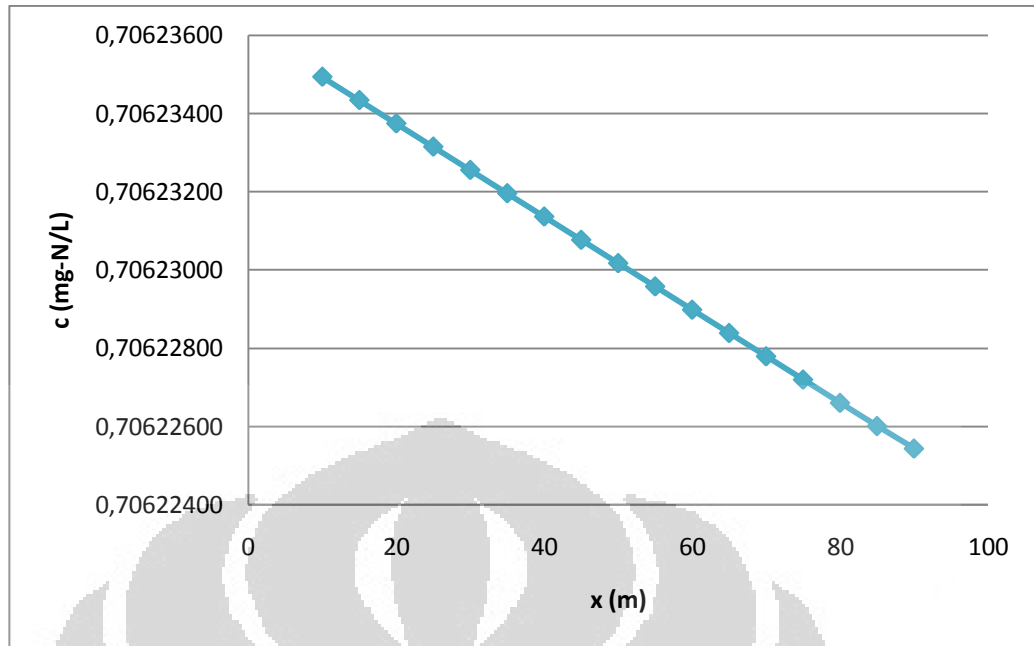
a. Grafik konsentrasi total nitrogen berdasarkan perubahan jarak

Dari tabel perubahan 5.13, grafik yang menghubungkan antara konsentrasi dengan perubahan jarak sebanyak 10 buah dengan waktu yang berbeda. Dimulai dari $l = 0$ hingga $l = 10$. Selang waktu yang dibuat sebesar 7,8125 detik sesuai dengan syarat kestabilan model pada persamaan 5.2.1. Berikut ini merupakan contoh grafik dari perubahan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dengan interval jarak 5 meter, setelah 15,625 ($l = 2$) detik lindi masuk ke Sungai Pesanggrahan.

Tabel 5.15. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $l=2$

i	x (m)	c (mg-N/L)
2	10	0,70623493
3	15	0,70623434
4	20	0,70623374
5	25	0,70623315
6	30	0,70623255
7	35	0,70623196
8	40	0,70623136
9	45	0,70623077
10	50	0,70623017
11	55	0,70622958
12	60	0,70622898
13	65	0,70622839
14	70	0,70622779
15	75	0,70622720
16	80	0,70622660
17	85	0,70622601
18	90	0,70622543

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011



Gambar 5.6. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $t=2$
(Pengolahan Penulis, 2011)

b. Grafik konsentrasi total nitrogen berdasarkan perubahan waktu

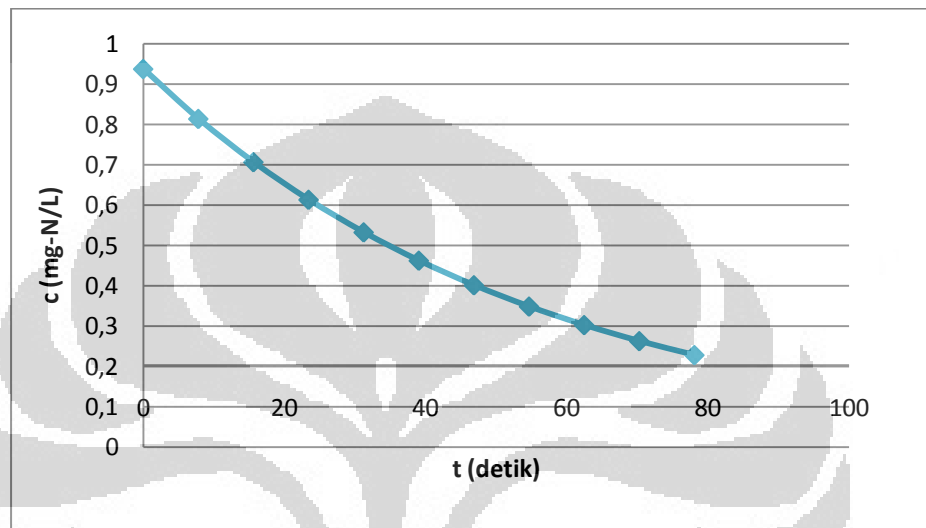
Untuk grafik konsentrasi total nitrogen terhadap perubahan waktu terdapat 20 grafik dengan jarak yang berbeda. Setiap titik berselang sebesar 5 meter sesuai dengan ketentuan pada perhitungan yang dibuat sebelumnya. Berikut ini merupakan grafik konsentrasi terhadap waktu dengan jarak yang dimulai dari $i + 1$ hingga $i + 19$. Untuk i dan $i + 20$ tidak dibuat grafik karena hanya memiliki 1 data sesuai dengan tabel 5.13. Berikut ini merupakan contoh grafik dari perubahan konsentrasi total nitrogen terhadap waktu pada jarak 50 meter ($i = 10$) dari titik efluen lindi TPA Cipayang.

Tabel 5.16. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $i = 10$

l	t (detik)	c (mg-N/L)
0	0	0,9372098
1	7,8125	0,8135637
2	15,625	0,7062302
3	23,4375	0,6130572
4	31,25	0,5321765
5	39,0625	0,4619665
6	46,875	0,4010192

7	54,6875	0,3481127
8	62,5	0,3021862
9	70,3125	0,2623188
10	78,125	0,2277111

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011



Gambar 5.7. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Waktu Saat $i=10$
(Pengolahan Penulis, 2011)

5.3 Perbedaan Hasil Model dengan Observasi

Titik yang akan dibandingkan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak yaitu saat $l = 1$ pada $i = 1$ dan $i = 2$. Sedangkan untuk perubahan konsentrasi terhadap waktu dilakukan dengan membandingkan titik di $i = 1$ pada $l = 1$ dan $l = 2$ dimana i menunjukkan dimensi jarak dan l menunjukkan dimensi waktu. Besarnya perbedaan hasil antara model dan observasi dapat menjadi salah satu sumber untuk memperkirakan apakah model yang telah disusun telah merepresentasikan kondisi di lapangan.

Berikut ini merupakan data-data komponen model yang akan kembali dibuat dan hasilnya akan dibandingkan dengan observasi :

Q_o : Q lindi + Q sungai (m^3 /hari)

$$= 246706,0236 \text{ m}^3/\text{hari}$$

c : konsentrasi total nitrogen pada lindi (mg-N/L)

- $= 123,58 \text{ mg-N/L}$
 U : kecepatan sungai (m/hari)
 $= 0,64 \text{ m/detik} \times 86400 \text{ detik/hari} = 55296 \text{ m/hari}$
 L : panjang sungai yang dimodelkan (m)
 $= 40 \text{ m}$
 n : jumlah segemen
 $= 20 \text{ segmen}$
 Δx : perubahan jarak
 $= 2 \text{ m}$
 E : koefisien dispersi (m^2/hari)
 $= 38544,05 \text{ m}^2/\text{hari}$
 E' : *bulk coefficient* untuk dispersi
 $= (E' \times A_c) / \Delta x = (38544,05 \text{ m}^2/\text{hari} \times 3,35 \text{ m}^2) / 2 \text{ m} = 83925,83 \text{ m}^3/\text{hari}$
 A_c : luas *cross section* sungai (m^2)
 $= 4,35 \text{ m}^2$
 V : volume tiap segmen di sungai (m^3/hari)
 $= A_c \cdot \Delta x = 4,35 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} = 8,7096 \text{ m}^3$
 k : laju peluruhan total nitrogen orde nol (mg-N/L)
 $= 0,1328 \text{ mg-N/L-hari}$
 W : beban total nitrogen dari lindi TPA Cipayung selama 30 menit (gram-N/hari)
 $= 3,2652 \text{ m}^3/\text{hari} \times 123,58 \text{ gr-N/m}^3 = 403,54 \text{ gram-N/hari}$
 Δt : perubahan waktu (detik)
 $= \Delta x / U = (2 \text{ m} / 55296 \text{ m/hari}) \times 86400 \text{ detik/hari} = 3,125 \text{ detik}$

Setelah dimasukkan ke dalam persamaan model dengan Metode *Finite Difference –Runge Kutta*, diperoleh nilai dan grafik dari konsentrasi terhadap jarak dan waktu yang tercantum pada tabel 6.6. Lalu diambil 3 segmen untuk dibandingkan dengan observasi yaitu pada saat ($i=1, l=1$), ($i=2, l=1$) dan ($i=2, l=2$). Berikut ini merupakan penjabaran dari konsentrasi total nitrogen di segmen sungai yang akan dibandingkan dengan hasil observasi terhadap jarak dan waktu.

Tabel 5.17. Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Terhadap Waktu

<i>l</i>	waktu (detik)	<i>i</i> (m)	jarak (m)	<i>c</i> (mg-N/L)
1	3,125	2	4	0,526646756
2	6,25	2	4	0,318278622

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Tabel 5.18. Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Terhadap Jarak

<i>l</i>	waktu (detik)	<i>i</i> (m)	jarak (m)	<i>c</i> (mg-N/L)
1	3,125	1	2	0,526646761
1	3,125	2	4	0,526646756

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Sedangkan untuk data observasi, diperoleh nilai konsentrasi total nitrogen dengan cara pemeriksaan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan pada lindi dan titik di Sungai Pesanggrahan yang akan dibandingkan dengan hasil konsentrasi dari pemodelan. Konsentrasi total nitrogen dari lindi TPA Cipayung adalah 123,58 mg-N/L berdasarkan hasil pengukuran untuk observasi. Sedangkan konsentrasi total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan yang dihitung dengan Metode Kjedahl sesuai persamaan (3.4.2) sebagai berikut.

Tabel 5.19. Konsentrasi Total Nitrogen Berdasarkan Observasi

<i>l</i>	waktu (s)	<i>i</i> (m)	jarak (m)	<i>c</i> (mg-N/L)
1	3,125	1	2	0,5498328
				0,559152
	Konsentrasi rata-rata			0,5544924
	3,125	2	4	0,5265023
0,5405136				
Konsentrasi rata-rata			0,532748	
1	3,125	2	4	0,5498328
				0,559152
	Konsentrasi rata-rata			0,5544924
2	6,25	2	4	0,3525764
				0,3463636
	Konsentrasi rata-rata			0,34947

Sumber : Pengolahan Penulis, 2011

Setelah mengetahui konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan melalui observasi dan model, dapat dilihat perbedaan hasil antara kedua data tersebut. Besarnya perbedaan hasil tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan (3.4.13) sebagai berikut.

$$\text{Perbedaan hasil (\%)} = \left| \frac{C \text{ observasi} - C \text{ model}}{C \text{ observasi}} \right| \times 100\% \quad (3.4.13)$$

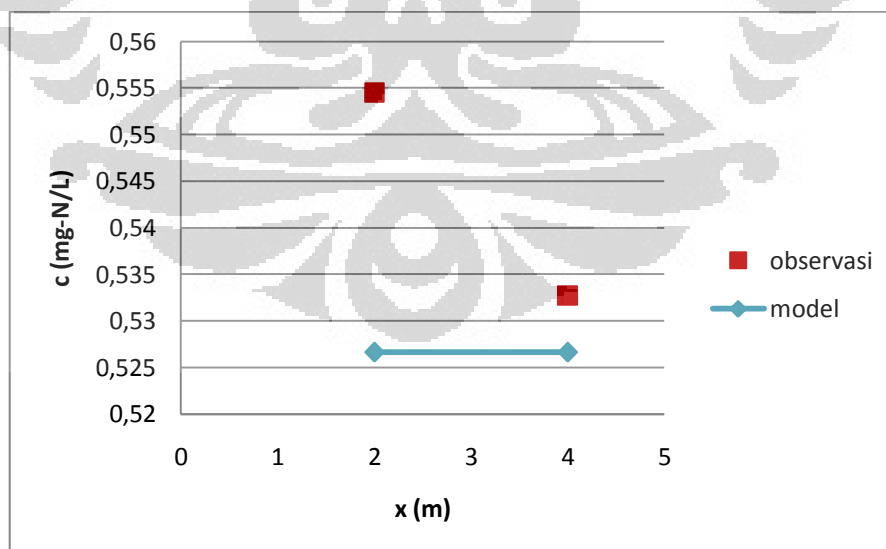
5.3.1.1 Perbedaan Konsentrasi Total Nitrogen antara Model dan Observasi terhadap Perubahan Jarak

Berikut ini merupakan hasil perbedaan konsentrasi antara model dengan observasi terhadap jarak pada saat 3,125 detik ($t=1$) setelah lindi TPA Cipayang dibuang ke Sungai Pesanggrahan.

Tabel 5.20. Persentase Perbedaan Konsentrasi antara Model dan Observasi

Jarak (m)	Model c (mg-N/L)	Observasi c (mg-N/L)	Perbedaan Hasil (%)
2	0,526646761	0,5544924	5,0218
4	0,526646756	0,532748	1,1452

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011



Gambar 5.8. Grafik Konsentrasi antara Model dan Observasi Berdasarkan Perubahan Jarak

(Pengolahan Penulis, 2011)

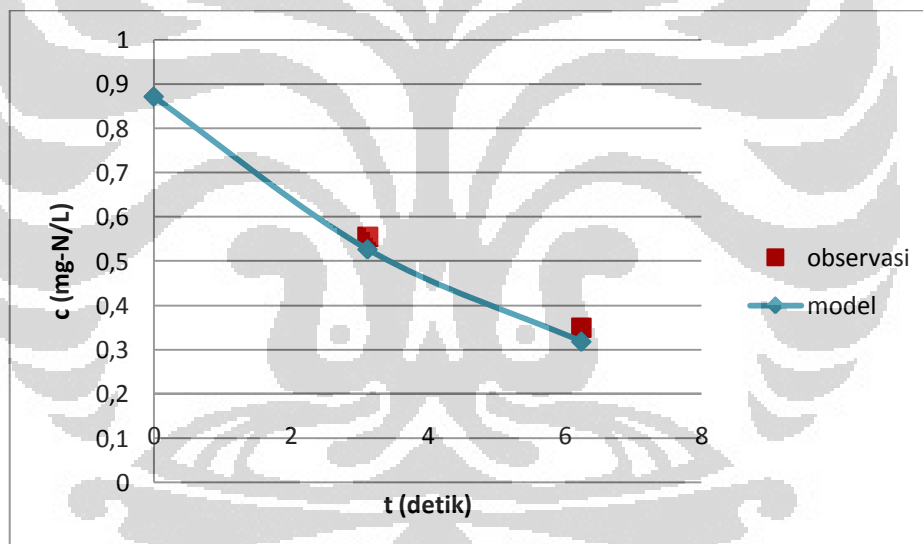
5.3.1.2 Perbedaan Konsentrasi Total Nitrogen antara Model dan Observasi terhadap Perubahan Waktu

Berikut ini merupakan hasil perbedaan konsentrasi antara model dengan observasi terhadap waktu pada jarak 4 meter dari titik efluen lindi TPA Cipayung menuju Sungai Pesangrahan.

Tabel 5.21. Persentase Perbedaan Konsentrasi antara Model dan Observasi

Waktu (detik)	Model c (mg-N/L)	Observasi c (mg-N/L)	Perbedaan Hasil (%)
3,125	0,526646756	0,5544924	5,021826058
6,25	0,318278622	0,34947	8,925337724

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011



Gambar 5.9. Grafik konsentrasi antara model dan observasi berdasarkan perubahan waktu

(Pengolahan Penulis, 2011)

BAB 6

ANALISA DAN PEMBAHASAN

6.1 Analisa Komponen Model

Untuk menyusun suatu model, dalam penelitian ini adalah pemodelan konsentrasi total nitrogen akibat beban impuls lindi TPA Cipayung, dibutuhkan data komponen model. Perhitungan dari komponen model telah dilakukan pada bab sebelumnya. Dari hasil tersebut, akan dianalisa berdasarkan studi pustaka yang telah disusun.

6.1.1 Debit Lindi TPA Cipayung

Debit lindi TPA Cipayung diperoleh dari pengukuran secara manual oleh penulis. Untuk memperoleh rata-rata debit lindi, dilakukan 5 kali pengukuran agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Pengukuran yang dilakukan sebanyak 5 kali tersebut merupakan pengukuran kecepatan lindi yang pada akhirnya akan dikali dengan luas *cross section* aliran lindi sehingga diperoleh debit lindi. Rata-rata debit lindi yang diperoleh sebesar $0,001814 \text{ m}^3/\text{deik}$. Jika dikonversi ke dalam satuan hari, maka besarnya debit lindi tersebut adalah $156,7296 \text{ m}^3/\text{hari}$. Dibandingkan dengan debit Sungai Pesanggrahan yang mencapai $246702,7584 \text{ m}^3/\text{hari}$, debit lindi tersebut dapat dikatakan sangat kecil yaitu sekitar 0,06% dari debit sungai sehingga konsentrasi pencemar yang terkandung dalam lindi akan mengalami pengenceran. Hal ini menjadi keuntungan sendiri bagi pihak TPA Cipayung karena lindi yang dibuang ke sungai dianggap tidak mencemari lingkungan akibat telah mengalami pengenceran yang besar. Debit lindi yang kecil ini disebabkan karena air lindi yang dihasilkan oleh TPA Cipayung tidak terlalu besar, selain itu pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari saat tidak terjadi hujan sebelumnya sehingga tidak ada air hujan yang meresap ke dalam *landfill*.

6.1.2 Konsentrasi Total Nitrogen Lindi

Sampel yang diambil untuk mengetahui konsentrasi total nitrogen pada lindi yaitu bagian hulu sungai sebelum lindi dibuang ke Sungai Pesanggrahan.

Konsentrasi total nitrogen pada lindi diperoleh dari pengukuran di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan dengan Metode Kjeldahl. Metode Kjeldahl adalah metode yang terdiri dari pemanasan asam sulfat yang akan mendekomposisi material organik secara oksidasi dan mengubahnya menjadi amonium (Cohen,1910). Analisa Kjeldahl pada umumnya hanya dilaksanakan pada sampel air yang diduga mengandung zat organik seperti air buangan penduduk, bermacam jenis air buangan industri, dan air sungai. Zat organik yang mengandung nitrogen diubah menjadi amonium, kemudian amonium yang terbentuk dianalisa dengan N-amonium. Zat organik tersebut berubah menjadi CO₂ dan H₂O serta melepaskan amonia dalam suasana asam kuat terikat menjadi amonia sulfat. Kemudian tambahan NaOH akan melepaskan amonia tersebut sekaligus mengubahnya sampai menjadi amonium. Seluruh amonium tersebut serta sedikit air dapat didestilasi dari sampel.

Dari pengukuran total nitrogen berdasarkan Metode Kjeldahl pada JIS (*Japan International Standard*) dengan dua kali pengecekan sampel diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 6.1. Data Pengukuran Total Nitrogen Lindi

a (mg-NH ₃ /L)	b (mg-NH ₃ /L)
0,15	136
0,15	136

Sumber: Pengukuran Penulis, 2011

Konsep pengukuran total nitrogen pada JIS yaitu konsentrasi total nitrogen sebanding dengan nitrogen organik ditambah ion amonium dan sebanding pula dengan nitrat ditambah dengan nitrit. Nilai a merupakan jumlah ion amonium yang diperoleh dari proses destruksi dan destilasi. Destruksi merupakan proses degradasi dan dekomposisi material organik dalam suasana asam pada sampel (ExpotechUSA). Sedangkan destilasi berfungsi dalam mengubah material organik menjadi ion amonium. Material organik yang berada pada sampel diubah menjadi ion amonium pada proses destilasi dan diserap oleh larutan penjerap H₂SO₄ 0,02 mmol sebanyak 25 ml. Selanjutnya ion amonium yang telah diserap akan dibaca pada spektrofotometer dengan Metode Nessler.

Metode Nessler yaitu metode analisa amonium dengan menambah reagen Nessler kedalam sampel yang dicampurkan dengan larutan garam maka akan terbentuk warna kuning kecoklatan, dan warna inilah yang diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 425 nm (SNI 06-2479-1991). Material organik yang terukur pada sampel cukup kecil, hal ini dapat terjadi karena nitrogen organik yang terkandung dalam sampel dihidrolisasi sehingga berubah menjadi amonium.

Nilai b merupakan jumlah ion amonium yang terdapat pada sampel tersebut. Karena sampel yang diuji adalah lindi, konsentrasi ion amonium cukup tinggi yaitu sebesar 136 mg-NH₄/L. Hal tersebut dapat disebabkan oleh perubahan senyawa nitrogen organik dan hidrolisasi amonia menjadi ion amonium sesuai dengan siklus nitrogen pada air. Mengingat bahwa kandungan amonia pada lindi cukup besar yaitu mencapai 10-800 mg-NH₃/L (Tchobanoglous *et al.*, 1993), maka memungkinkan terhidrolisasi di air sehingga berubah menjadi amonium.

Dari data pada tabel 6.1, diolah ke dalam persamaan (3.4.2) sehingga diperoleh nilai rata-rata total nitrogen adalah 106,2 mg-N/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu, total nitrogen tersebut harus dikonversi menjadi amonia, nitrit, serta nitrat karena standar total nitrogen tidak terdapat pada baku mutu air bersih ataupun air limbah. Komponen nitrogen yang umum dibandingkan dengan baku mutu adalah amonia dan nitrat. Hal tersebut disebabkan bahwa konsentrasi amonia yang berlebih di perairan akan menyebabkan *ammonia toxicity* di perairan (Chapra, 1997). Selain itu kandungan amonia dalam jumlah sedikit dapat berbahaya pada kesehatan manusia, hal tersebut diatur dalam PP No.82 tahun 2001 bahwa batas maksimum amonia pada sumber baku air minum yaitu 0,5 mg-NH₃/L. Sedangkan untuk data nitrat digunakan dalam analisa nitrogen di sungai yang menandakan apakah telah terjadi nitrifikasi di dalam sungai tersebut. Nitrifikasi menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut pada perairan dukup besar (EPA, 2002). Lain halnya dengan nitrit, nitrit merupakan senyawa yang tidak stabil jika dibandingkan dengan nitrat sehingga keberadaan di lindi atau di sungai relatif kecil karena telah berubah menjadi nitrat atau gas N₂ (Wolff *et al.*, 1997).

Konsentrasi amonia yang dikonversi dari ion amonium sesuai persamaan (3.4.10) sebesar 128,4 mg-NH₃/L. Jika dibandingkan dengan peraturan KEP-

51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, telah melebihi baku mutu dimana dalam peraturan tersebut tercantum batas maksimum amonia dalam limbah cair golongan I dan golongan II sebesar 1 dan 5 mg-NH₃/L. Nilai tersebut sangat kecil bila dibandingkan dengan konsentrasi amonia pada lindi yaitu mencapai 128,4 mg-NH₃/L. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi amonia pada lindi TPA Cipayung melebihi baku mutu limbah cair. Hal tersebut dapat terjadi karena kegagalan proses pengolahan lindi dengan menggunakan *stabilization pond* sehingga tidak atau sedikit mengurangi konsentrasi amonia. Jika dilihat dari kondisi di lapangan, lindi pada *stabilization pond* mengeluarkan bau yang sangat menusuk dan warna lindi tersebut adalah hitam. Kurangnya aerasi pada *stabilization pond* menyebabkan bakteri aerob mati dan proses pengolahan air limbah tidak optimal.

6.1.3 Debit Sungai Pesanggrahan

Debit Sungai Pesanggrahan diukur menggunakan alat *current meter*. Prinsip perhitungan debit pada *current meter* adalah jumlah perputaran baling-baling pada alat tersebut akibat aliran air sungai.

Dari hasil pengukuran dan perhitungan debit Sungai Pesanggrahan sesuai pada tabel 5.5 diasumsikan bahwa lebar sungai dianggap konstan karena perbedaan lebar pada sungai tersebut dapat dikatakan kecil disepanjang sungai yang dekat dengan TPA Cipayung, padahal dalam keadaan yang sebenarnya, lebar sungai dapat berbeda. Namun untuk menyederhanakan dalam pengambilan data, penulis hanya mengukur variasi dari kedalaman sungai yaitu pada titik tepi sungai diperoleh kedalaman 0,43 m, bagian tengah sungai 0,65 m, dan bagian tepi terjauh memiliki kedalaman 0,64 m. Perhitungan dimensi penampang sungai mempengaruhi besarnya debit sungai. Semakin besar luas penampang sungai, semakin besar pula debit sungai jika konstanta kecepatan sungai dianggap tetap.

Dari perhitungan debit di atas, diperoleh nilai kecepatan rata-rata sungai sebesar 0,6406 m/detik. Jika dikonversi ke dalam satuan hari, kecepatan Sungai Pesanggrahan adalah sebesar 55296 m/hari. Kecepatan sungai dikalikan dengan luas penampang sungai akan menghasilkan debit rata-rata Sungai Pesanggrahan sebesar 2,855356 m³/s yang diperoleh dari rata-rata debit sungai pada bagian

kedua tepi dan tengah sungai sehingga diharapkan nilai debit tersebut dapat merepresentasikan debit Sungai Pesanggrahan secara keseluruhan. Jika dibandingkan debit lindi yang mencapai $0,001814 \text{ m}^3/\text{s}$, debit Sungai Pesanggrahan dapat dikatakan sangat besar sehingga lindi yang dibuang ke TPA Cipayung dapat mengalami pengenceran secara sempurna.

6.1.4 Konsentrasi Total Nitrogen di Sungai Pesanggrahan

Sama halnya dengan pengukuran total nitrogen lindi pada TPA Cipayung, total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan diukur dengan Metode Kjeldahl. Sampel diambil pada titik di sungai dimana belum adanya buangan lindi dari TPA Cipayung. Hal ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan secara alami di perairan.

Dari pengukuran yang telah dilakukan, konsentrasi total nitrogen rata-rata sebesar $0,869792 \text{ mg-N/L}$ dan amonia sebesar $1,05 \text{ mg-NH}_3/\text{L}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebelum adanya buangan lindi TPA Cipayung, konsentrasi amonia dari total nitrogen di Sungai Pesanggrahan telah melebihi baku mutu air bersih sesuai dengan PP No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Dalam peraturan tersebut dicantumkan bahwa konsentrasi maksimal pada air golongan 1 untuk air baku air minum atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut memiliki batas maksimal sebesar $0,5 \text{ mg-NH}_3/\text{L}$. Namun untuk air baku golongan II,III, dan IV untuk perikanan, peternakan, dan irigasi, Sungai Pesanggrahan dapat tetap dijadikan air baku karena pada golongan tersebut tidak dipersyaratkan konsentrasi maksimum amonia di perairan.

Besarnya amonia dan total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan dipengaruhi oleh adanya sampah-sampah yang terdapat pada tepi sungai sehingga material organik terdekomposisi menjadi nitrogen organik, amonia, serta bila terdapat konsentrasi oksigen terlarut yang cukup di perairan, amonia tersebut akan berubah menjadi nitrat.

Untuk konsentrasi total nitrogen pada titik pencampuran antara lindi dan Sungai pesanggrahan tidak dapat dilakukan perhitungan secara analitik berdasarkan persamaan (2.4.9) karena pada kondisi di lapangan terkadang tidak

selalu ideal sehingga persamaan tersebut tidak dapat diaplikasikan. Nilai yang diperoleh dari perhitungan tersebut lebih kecil daripada konsentrasi total nitrogen pada jarak $i=1$ yang diperoleh dari model konsentrasi terhadap jarak dengan kondisi *steady state* (*initial condition*). Oleh karena itu nilai dari c_0 (konsentrasi pada saat i dan l) diperoleh dari perhitungan secara analitik melalui ekstrapolasi antara konsentrasi pada saat $i=1$ dan $i=2$ pada $l=0$.

6.1.5 Laju Peluruhan (*Decay Rate*) Total Nitrogen

Laju peluruhan (*decay rate*) total nitrogen diperoleh dari metode integral yang mengintegrasikan hukum massa sesuai dengan persamaan (2.4.13). Integrasi tersebut dilakukan dengan membandingkan data yang telah diplot ke dalam grafik lalu dibandingkan dengan garis linier sesuai dengan orde reaksinya. Jika reaksi yang berjalan berdasarkan orde 0, maka data tersebut akan memiliki sedikit simpangan dari garis linear pada grafik c vs t . Jika reaksi berjalan sesuai dengan orde 1, maka data tersebut akan memiliki sedikit simpangan dari garis linear pada grafik $\ln c$ vs t . Sedangkan jika reaksi berjalan sesuai dengan orde 2, maka data tersebut akan memiliki sedikit simpangan dari garis linear pada grafik $1/c$ vs t . Jika perhitungan dilakukan menggunakan komputer, besarnya kemiripan data dengan garis linier dapat dilihat dari nilai R^2 .

Nilai dari laju peluruhan nitrogen berfungsi untuk mengetahui kecepatan reaksi total nitrogen secara alami tanpa adanya bantuan dari manusia. Semakin besar nilai laju peluruhan, semakin cepat pencemar yang berupa total nitrogen berkurang di perairan. Sampel air di Sungai Pesanggrahan diukur konsentrasi total nitrogen selama 5 kali dalam 5 hari berturut-turut dengan selang waktu selama 1 hari. Hal ini bertujuan untuk mengetahui laju peluruhan total nitrogen setiap harinya. Setelah diperoleh konsentrasi total nitrogen dalam 5 hari berturut-turut, data tersebut di plot ke dalam grafik c vs t , $\ln c$ vs t , dan $1/c$ vs t . Data yang memiliki simpangan terkecil pada grafik, merupakan jenis dari orde reaksinya. Berikut ini berupa ringkasan kesesuaian data pada garis linier grafik berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada Bab 4.

Tabel 6.2. Nilai R^2 pada Grafik Penentuan Orde Reaksi

Grafik	R^2
c vs t	0,9916
ln c vs t	0,9614
1/c vs t	0,8793

Sumber : Pengolahan Penulis, 2011

Dari tabel 6.3 menunjukkan bahwa laju peluruhan total nitrogen berjalan sesuai dengan orde reaksi nol. Sehingga nilai laju reaksi total nitrogen diperoleh dari persamaan garis c vs t yaitu $= -0,1328x + 0,9902$. Gradien garis dari grafik dari c vs t bersifat negatif sehingga nilai dari laju peluruhan total nitrogen adalah 0,1328 mg-N/L-hari. Nilai koefisien laju peluruhan dipengaruhi oleh suhu, semakin tinggi suhu, reaksi yang terjadi semakin besar. Pada waktu pengambilan sampel, suhu air di Sungai Pesanggrahan berlangsung normal yaitu sekitar 25°C. Jika dibandingkan dengan penelitian dalam mengukur laju peluruhan nitrogen di air pada suhu 20°C diperoleh nilai 0,115/hari (Howard, 1983). Dari kedua data tersebut dapat dikatakan bahwa semakin tinggi temperatur air akan meningkatkan nilai koefisien laju reaksi atau peluruhannya (Chapra, 1997).

6.1.6 Koefisien Dispersi Sungai Pesanggrahan

Dispersi merupakan perpindahan massa akibat pergerakan air. Karena aliran pada sungai merupakan jenis turbulen sehingga dapat dipastikan terjadi dispersi pada senyawa yang masuk ke dalam sungai. Nilai dari koefisien dispersi sangat berpengaruh terhadap konsentrasi pencemar di sungai. Jika koefisien dispersi pada sungai besar, konsentrasi pencemar akan cepat berkurang terhadap waktu. Dari perhitungan secara analitik sesuai dengan persamaan (2.4.2), koefisien dispersi Sungai Pesanggrahan sebesar 38568,54 m²/hari. Koefisien dispersi ini dipengaruhi oleh debit, lebar, dan kemiringan dari Sungai Pesanggrahan. Kemiringan pada sungai Pesanggrahan cukup kecil yaitu sekitar 0,05 yang diukur sesuai dengan perhitungan pada persamaan (3.4.3) dengan panjang sungai yang dimodelkan sebesar 100 m. Selain itu, kemiringan sungai juga dianggap konstan untuk meyerederhanakan pengolahan data pada model

namun tetap dapat mewakili rata-rata kemiringan sungai. Yang menyebabkan koefisien dispersi sungai besar adalah debit Sungai Pesanggrahan itu sendiri. Jadi konsentrasi pencemar yang masuk ke Sungai Pesanggrahan mengalami dispersi dan pengenceran sehingga jika dicek di laboratorium mengenai konsentrasi total nitrogen di sungai akibat buangan lindi menunjukkan data yang cukup kecil.

6.2 Analisa Model

Penetapan komponen-komponen model tersebut berdasarkan keseimbangan massa yang berada di sungai dimana sungai diibaratkan sebagai *Mixed-Flow Reactor* (MFR). MFR merupakan reaktor yang memperhitungkan terjadinya dispersi dan adveksi di dalam reaktor tersebut. Adveksi merupakan perpindahan suatu senyawa di air tanpa mengubah komposisi dari senyawa tersebut. Sedangkan dispersi merupakan perpindahan massa akibat pergerakan air. Karena aliran pada sungai merupakan jenis turbulen sehingga dapat dipastikan terjadi dispersi pada senyawa yang masuk ke dalam sungai. Untuk parameter total nitrogen, terjadi peluruhan atau reaksi senyawa tersebut di dalam perairan yang dihitung secara total karena penulis tidak menjabarkan secara detail nilai laju peluruhan total nitrogen akibat amonifikasi atau nitrifikasi. Sehingga persamaan keseimbangan massa di sungai sesuai dengan persamaan (2.4.5) ditambah dengan beban dari lindi TPA Cipayung adalah sebagai berikut.

$$\Delta V \frac{dc}{dt} = -UA_c \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + EA_c \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \Delta x - k\Delta V \bar{c} + W \quad (2.4.5)$$

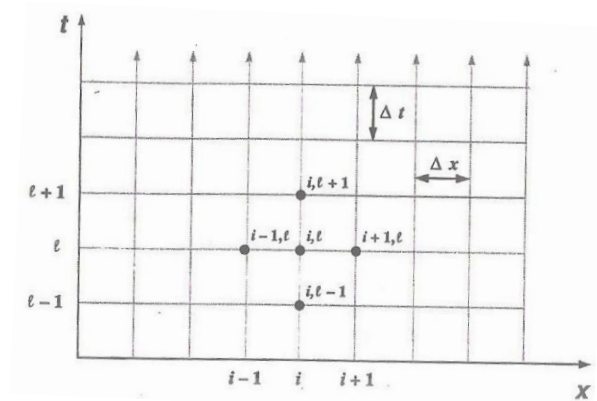
Akumulasi Adveksi Dispersi Reaksi Beban

Dari persamaan keseimbangan massa di atas, model yang akan dibuat berdasarkan beban impuls yang berarti beban yang masuk ke badan air tidak dilakukan secara kontinu, maka beban (W) lindi yang masuk ke Sungai Pesanggrahan hanya ada pada saat $i=0$ dan $l=0$. Akumulasi merupakan representasi dari perubahan massa di dalam sistem terhadap waktu. Akumulasi di sungai dipengaruhi oleh adveksi dan dispersi dari sungai itu sendiri serta reaksi yang dipengaruhi dari laju peluruhan total nitrogen.

Pemodelan kualitas air permukaan terhadap jarak dan waktu dapat dilakukan secara analitik dan numerik. Tetapi perhitungan secara numerik memiliki kelebihan daripada perhitungan numerik seperti:

- a. Dalam perhitungan secara analitis fungsi *loading* dianggap ideal untuk memenuhi bentuk linear, eksponensial, maupun sinusoidal. Pada kenyataannya, *loading* tidak sepenuhnya memenuhi bentuk atau pola tersebut.
- b. Sistem dengan lebih dari dua segmen membutuhkan perhitungan numerik agar lebih efisien.
- c. Pada kondisi di lapangan, terdapat berbagai permasalahan kualitas air yang membutuhkan reaksi nonlinear. Dalam kasus ini, perhitungan secara analitis tidak dapat digunakan.

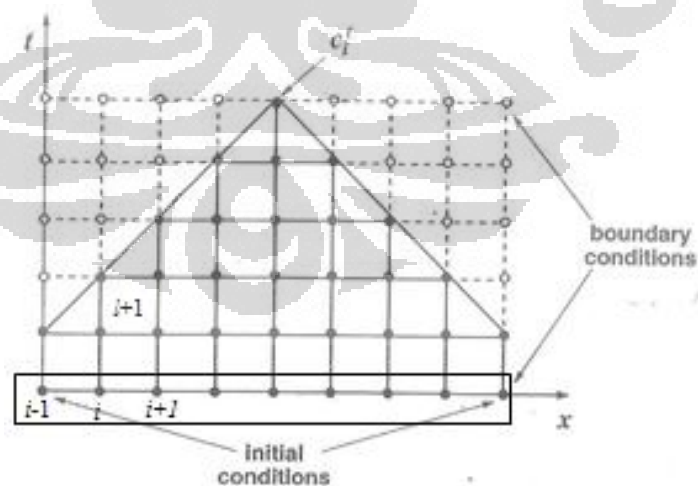
Sehingga pada pemodelan konsentrasi total nitrogen akibat buangan lindi TPA Cipayung secara impuls dilakukan secara numerik. Metode yang dipilih yaitu Metode Finite difference Runge Kutta. Metode ini merupakan gabungan dari Metode Finite Difference yaitu sebuah metode pendekatan untuk solusi persamaan diferensial dengan mengubah turunan dari persamaan tersebut menjadi persamaan lain yang setara. Dengan metode ini, persamaan diferensial pada analitik dapat diubah menjadi numerik dan dapat dihitung menggunakan peranti lunak Microsoft Excel. Sedangkan Metode Runge Kutta merupakan metode numerik yang paling umum digunakan dalam pemodelan kualitas air karena memiliki ketelitian yang besar, mengingat dalam metode ini menggunakan persamaan orde 4 sehingga estimasi *slope* lebih detail. Jika digambarkan pada sebuah grid di bawah ini, model yang dibuat bertujuan untuk mengetahui $(c_{i+1,i+2,\dots,i+n}^l)$ dan $(c_i^{l+1,l+2,\dots,l+n})$ dimana i menunjukkan variabel jarak dan l menunjukkan variabel waktu.



Gambar 6.1. Karakterisasi dimensi spasial dan temporal dengan grid

Sumber : (Chapra,1997)

Konsentrasi yang akan dimodelkan bersifat *unsteady* yang berarti penyusunan model melibatkan adanya perubahan waktu. Dari gambar 6.2 sebelum dilakukan pemodelan konsentrasi terhadap jarak (c_i^{l+1}) dibutuhkan data *initial condition* yaitu konsentrasi pada saat konsentrasi di titik $x = i-1$, $x = i$ dan $x = i+1$ pada saat $t = l$. Begitu pula untuk mencari nilai konsentrasi saat $l+2$ dibutuhkan data $x = i$, $x = i+1$ dan $x = i+2$ pada saat $t = l+1$. Dan pada akhirnya terbentuklah grid berbentuk piramida dimana didalamnya terdapat hasil dari pemodelan terhadap waktu serta jarak.



Gambar 6.2. Representasi Pendekatan *Finite Difference*

(Chapra, 1997)

6.2.2 Analisa Perhitungan *Initial Condition*

Penentuan initial condition yang dimaksud adalah memprediksikan perubahan konsentrasi terhadap perubahan jarak dengan kondisi *steady state* dimana perubahan terhadap waktu tidak diperhitungkan. Data konsentrasi ini digunakan dalam memodelkan konsentrasi berdasarkan perubahan waktu dan jarak dengan kondisi *unsteady*. Penentuan initial condition menggunakan pendekatan volume kontrol sehingga sungai dibagi ke dalam beberapa segmen. Jumlah segmen yang dibuat sebanyak 20 dengan panjang sungai yang dimodelkan yaitu 100 m. Penentuan jumlah segmen ini tergantung dari banyaknya data yang diinginkan. Keseimbangan massa pada perhitungan ini sesuai dengan persamaan (2.4.36) yaitu:

$$0 = W_i + Q_{i-1,i}c_{i,i-1} - Q_{i,i+1}c_{i,i+1} + E'_{i-1,i}(c_{i-1} - c_i) + E'_{i,i+1}(c_{i+1} - c_i) - k_i V_i c_i \quad (2.4.36)$$

Persamaan di atas hampir sama dengan kesimbangan massa di sungai, perbedaannya adalah pada persamaan ini berlangsung dalam keadaan *steady state* dan menggunakan nilai E' untuk koefisien dispersinya. E' dapat disebut dengan *bulk coefficient* yang dipengaruhi dari nilai koefisien dispersi sungai (E), luas *cross section* sungai (A_c), dan lebar setiap segmen atau dapat ditulis sebagai delta jarak (Δx). Dari perhitungan pada Bab 4 diperoleh nilai E' adalah 33570,33 m³/hari, hasil tersebut tidak berbeda jauh dengan koefisien dispersi sungai sebesar 38544,05 m²/hari.

Perhitungan konsentrasi dalam kondisi *steady state* menggunakan persamaan (2.4.42) yaitu :

$$[A]\{c\} = \{W\} \quad (2.4.42)$$

Dimana nilai c merupakan konsentrasi yang dicari, W merupakan beban lindi secara impuls yang hanya terletak pada segmen. Untuk menentukan nilai asimilasi (A) pada matriks, dapat dilihat pada gambar 2.17 yang merupakan keseimbangan massa pada volume kontrol. Untuk segmen $a_{1,1}$ komponen model yang berpengaruh adalah beban, reaksi, serta *bulk coefficient*. Pada segmen $a_{1,2}$, komponen model yang berpengaruh adalah *bulk coefficient*. Sedangkan untuk segmen $a_{2,1}$, komponen yang berpengaruh adalah debit dan *bulk coefficient*.

Begitu pula selanjutnya hingga segmen $a_{20,20}$. Dari perhitungan tersebut diperoleh konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dalam kondisi *steady state* dan ditambah dengan konsentrasi total nitrogen di sungai sesuai pada tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 6.3. Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak pada Kondisi *Steady State*

i	x	c total (mg-N/L)
0	0	0,937217664
1	5	0,937216874
2	10	0,937216084
3	15	0,937215294
4	20	0,937214505
5	25	0,937213715
6	30	0,937212925
7	35	0,937212135
8	40	0,937211346
9	45	0,937210556
10	50	0,937209766
11	55	0,937208977
12	60	0,937208187
13	65	0,937207397
14	70	0,937206608
15	75	0,937205818
16	80	0,937205028
17	85	0,937204239
18	90	0,937203451
19	95	0,937202672
20	100	0,937201977

Sumber : Pengolahan Penulis, 2011

Dari tabel 6.4 menunjukkan bahwa kolom c merupakan konsentrasi total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan akibat buangan lindi dari TPA Cipayung pada saat $t=l=0$. Pada waktu awal, konsentrasi total nitrogen terhadap waktu menurun karena semakin jauh jarak dari titik pencemar, konsentrasi pencemar akan berkurang dengan catatan tidak ada pencemar lain yang masuk ke sungai. Namun penurunan yang terjadi pada perubahan jarak saat $l = 0$ sangat kecil. Hal ini disebabkan karena komponen yang berperan terhadap perubahan konsentrasi terhadap jarak adalah adveksi, sedangkan dispersi kurang berperan dalam proses

ini sesuai dengan gambar 2.10. Selain itu, laju peluruhan total nitrogen sangat kecil yaitu 0,1328 mg-N/L-hari, sehingga pada saat $t=0$, konsentrasi total nitrogen terhadap waktu masih menyerupai konsentrasi total nitrogen awal ketika baru masuk ke sungai.

Hasil konsentrasi pada tabel 5.12 menunjukkan konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat lindi TPA Cipayung dan total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan itu sendiri akibat material organik di sungai. Jadi dapat diperkirakan bahwa lindi TPA Cipayung tidak memberikan kontribusi yang besar terhadap konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat debit lindi yang kecil dibandingkan debit sungai.

Konsentrasi total nitrogen pada saat lindi tepat jatuh ke sungai (c_0) dihitung dari ekstrapolasi nilai c_1 dan c_2 dan diperoleh 0,937217664 mg-N/L. Pada gambar 5.5, grafik yang diplot antara konsentrasi total nitrogen dengan jarak pada kondisi *steady state* berbentuk linier. Hal ini dikarenakan penurunan konsentrasi dari total nitrogen terhadap jarak pada saat kondisi awal sangat kecil dan perubahan konsentrasi yang terjadi secara konstan sehingga memungkinkan untuk tidak menghasilkan grafik berupa eksponensial. Bila diperpanjang jumlah segmen sungai maupun mengubah perbedaan jarak antar segmen (Δx), tidak mengubah grafik tersebut menjadi eksponensial.

6.2.3 Analisa Pemodelan Numerik Dengan Metode Finite Difference Runge Kutta

Setelah memperoleh konsentrasi total nitrogen di sungai pada kondisi awal dari $i=0$ hingga $i = 20$, dilakukan pemodelan terhadap jarak dan waktu dengan Metode Finite Difference Runge Kutta. Pemodelan terhadap jarak dan waktu dilakukan secara bersamaan. Sehingga pada akhir pengolahan data model ini diperoleh output tabel perubahan konsentrasi total nitrogen berdasarkan perubahan jarak dan waktu sesuai pada tabel 5.14.

Untuk kestabilan model, hal yang perlu diperhatikan adalah nilai dari Δt yang dipengaruhi oleh Δx dan kecepatan sungai. Perbedaan waktu untuk model ini sangat singkat yaitu $9,04225 \times 10^{-5}$ atau sama dengan 7,8125 detik. Hal ini disebabkan karena kecepatan Sungai Pesanggrahan yang besar dimana Δt yang diperlukan diperoleh dari Δx dibagi dengan kecepatan sungai (U). Jika Δt yang

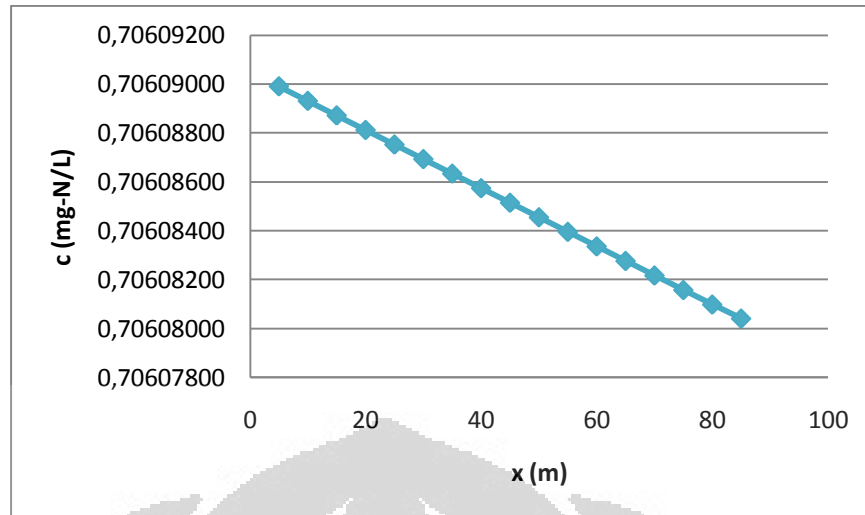
digunakan tidak memenuhi syarat, konsentrasi total nitrogen yang dimodelkan akan menunjukkan ketidakstabilan yang terlihat dari bentuk grafik konsentrasi terhadap waktu dan jarak yang memiliki bentuk naik dan turun.

Dari 20 data konsentrasi yang diperoleh pada perhitungan *initial condition*, pada akhirnya akan terdapat 10 data perubahan waktu terhadap jarak pada saat $l=1$ hingga $l=10$. Sedangkan untuk perubahan konsentrasi terhadap waktu diperoleh 20 data pada saat $i=1$ hingga $i=20$. Hasil dari model tersebut dapat dilihat pada tabel 5.13.

Jika dilihat pada tabel 5.13, tidak semua titik pada sungai dapat diketahui konsentrasinya. Seperti contoh, titik ($i=1$) pada ($l=2$) tidak dapat ditentukan konsentrasi total nitrogen di sungai. Hal tersebut disebabkan karena terdapat ketidaktersediaan data untuk menghitung konsentrasi. Data yang dimaksud berupa konsentrasi total nitrogen saat ($i=0$) pada ($l=1$). Begitu pula selanjutnya, jika terdapat titik di sungai yang tidak dapat ditentukan konsentrasinya disebabkan oleh adanya kekurangan data pada saat dimasukkan ke dalam perhitungan yaitu data konsentrasi pada saat waktu dan jarak sebelumnya. Hal ini dapat menjadi salah satu kekurangan Metode Finite Difference Runge Kutta.

6.2.4 Analisa Konsentrasi Terhadap Perubahan Jarak

Untuk menganalisa konsentrasi total nitrogen berdasarkan perubahan jarak yang diperoleh dari Metode Finite Difference Runge kutta dapat dipilih salah satu grafik yaitu konsentrasi total nitrogen pada saat $l=2$. Titik $l=2$ merupakan saat detik ke 15,625 setelah lindi TPA Cipayung jatuh ke Sungai Pesangrahan. Dari pemodelan yang telah dilakukan didapat nilai konsentrasi total nitrogen pada saat $l=2$ yaitu sebagai berikut.



Gambar 6.3. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Jarak Saat $l = 2$
(Pengolahan Penulis, 2011)

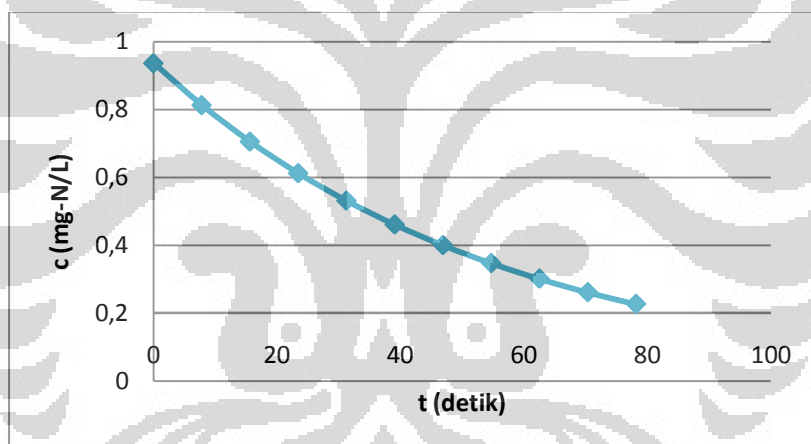
Dari grafik di atas terbentuk garis linear dengan *slope* negatif. *Slope* yang negatif ini menunjukkan bahwa konsentrasi berkurang terhadap perubahan jarak. Terdapat kesamaan pada hasil konsentrasi yang diperoleh antara Metode Finite Difference Runge Kutta dan *initial condition* dengan pendekatan kontrol volume yaitu:

- Konsentrasi akan berkurang terhadap perubahan jarak, hal ini disebabkan karena beban lindi yang masuk ke Sungai Pesanggrahan secara impuls, dimana lindi yang masuk ke sungai tidak dibuang secara kontinu. Selain itu, adanya reaksi dari total nitrogen yang dapat berubah menjadi amonia, nitrit, nitrat, maupun gas N_2 serta adveksi di sungai menyebabkan penurunan konsentrasi total nitrogen di sungai.
- Penurunan konsentrasi antar segmen sangat kecil. Hal ini disebabkan tidak adanya mekanisme dispersi jika ditinjau terhadap perubahan jarak, sehingga penurunan konsentrasi hanya bergantung pada reaksi dan adveksi. Pada adveksi, hanya terjadi perpindahan senyawa pada satu posisi ke posisi yang lain tanpa terjadi perpindahan massa dari senyawa tersebut (Chapra, 1997).
- Grafik penurunan konsentrasi berbentuk linier. Bila dibandingkan dengan studi pustaka, pada umumnya penurunan konsentrasi terhadap jarak memiliki grafik yang eksponensial. Grafik eksponensial dapat terbentuk jika perubahan konsentrasi terhadap jarak tidak konstan. Sedangkan pada grafik

6.3, perubahan konsentrasi terhadap jarak cenderung konstan yaitu sekitar 6×10^{-6} mg-N/L.

6.2.5 Analisa Konsentrasi Terhadap Perubahan Waktu

Pada hasil dari pemodelan menggunakan Metode Finite Difference Runge-Kutta, dihasilkan 20 data perubahan konsentrasi terhadap waktu dengan 20 perbedaan jarak dari titik efluen lindi. Dimana perbedaan jarak untuk setiap segmen sebesar 5 m. Untuk menganalisa perubahan konsentrasi total nitrogen berdasarkan perubahan waktu, diambil salah satu titik yaitu pada saat jarak dari titik efluen sebesar 50 m ($i=10$). Waktu dimulai dari detik pertama lindi masuk ke Sungai Pesanggrahan ($l=0$) hingga detik ke 78,125 ($l=10$). Berikut ini merupakan penurunan konsentrasi dalam bentuk grafik terhadap waktu yang diperoleh dari hasil pemodelan:



Gambar 6.4. Grafik Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Waktu Saat $i = 10$
(Pengolahan Penulis, 2011)

Berdasarkan grafik di atas, konsentrasi total nitrogen akan berkurang seiring dengan bertambahnya waktu. Hal tersebut sesuai dengan studi pustaka bahwa beban jenis impuls akan memberikan respon konsentrasi yang semakin menurun sesuai dengan perubahan waktu yang dapat dilihat pada gambar 2.9. Selain itu, penurunan konsentrasi yang tidak konstan terhadap waktu menjadi salah satu penyebab grafik tersebut memiliki bentuk eksponensial. Pada selang waktu 7,8125 detik antara $l=0$ dan $l=1$, terjadi penurunan konsentrasi sebesar 0,12372966 mg-N/L. Penurunan konsentrasi yang besar ini diakibatkan dalam

variabel waktu terdapat mekanisme dispersi dimana terjadinya perpindahan massa pada suatu senyawa akibat aliran turbulen di sungai sehingga konsentrasi senyawa menyebar ke segala arah. Koefisien dispersi di sungai cukup besar yaitu 38568,54 m²/hari. Hal tersebut dipengaruhi oleh debit Sungai Pesanggrahan yang sangat besar jika dibandingkan dengan debit lindi dari TPA Cipayung.

Selain mekanisme dispersi, pada variabel waktu terdapat mekanisme adveksi dan reaksi yang mempengaruhi penurunan konsentrasi, walaupun mekanisme tersebut memiliki pengaruh yang kecil terhadap penurunan konsentrasi total nitrogen di sungai. Pengaruh yang tidak signifikan tersebut diperoleh berdasarkan pada pemodelan konsentrasi terhadap jarak, dimana setiap perbedaan jarak 5 meter hanya terjadi penurunan konsentrasi sebesar 7×10^{-7} mg-N/L pada $l=0$.

Berdasarkan model yang telah disusun, terdapat faktor yang mempengaruhi penurunan konsentrasi terhadap waktu yang berkaitan dengan *bulk coefficient* (E'). *Bulk coefficient* dapat diartikan sebagai nilai dispersi yang terjadi dalam suatu segmen. Perbedaan dengan nilai koefisien dispersi (E) ialah nilai E pada suatu sungai meninjau secara keseluruhan kemampuan dispersi sungai tersebut, sedangkan nilai dari *bulk coefficient* berpengaruh terhadap dispersi yang terjadi pada suatu segmen pada sungai yang telah ditentukan. Nilai dari *bulk coefficient* dipengaruhi oleh koefisien dispersi sungai, luas *cross section* sungai, serta jarak pada segmen. Semakin kecil perbedaan jarak antar segmen, semakin besar nilai E' yang menyebabkan penurunan konsentrasi senyawa yang drastis. Walaupun nilai E' hanya digunakan pada saat penentuan kondisi awal (*initial condition*), namun hasil dari model tersebut akan digunakan dalam Metode Runge Kutta untuk memodelkan konsentrasi terhadap perubahan waktu. Penurunan senyawa yang tidak konstan menyebabkan bentuk grafik eksponensial lebih terlihat daripada model yang menggunakan perbedaan jarak yang lebih kecil antar segmen.

6.2.6 Analisa Total Nitrogen di Sungai Pesanggrahan

Pemodelan yang dilakukan bertujuan untuk memprediksikan konsentrasi total nitrogen pada sungai akibat beban lindi secara impuls. Nitrogen pada kondisi

berlebih menjadi salah satu parameter pencemar di perairan karena dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut melalui proses nitrifikasi serta membahayakan kehidupan biota air akibat *ammonia toxicity* (Chapra, 1997). Nitrogen pada air dapat ditemukan dalam bentuk amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), dan molekul nitrogen (N_2) dalam bentuk gas (Sawyer, 2003). Pada kondisi di lapangan, senyawa-senyawa dari nitrogen tersebut secara alami terdapat pada sungai. Sebagai contoh nitrogen organik di perairan berasal fiksasi nitrogen dan proses pembusukan makhluk hidup yang telah mati. Amonia berasal dari hidrolisasi dari nitrogen organik, pembusukan material organik, serta sisa metabolisme dari biota air. Nitrit merupakan senyawa peralihan dari oksidasi amonia menjadi nitrat. Sedangkan gas N_2 merupakan hasil suatu reaksi yang sulit untuk bereaksi kembali. N_2 lenyap dari larutan sebagai gelembung gas karena kadar kejenuhan yang rendah. Namun gas N_2 tetap dapat diserap oleh air dan udara serta digunakan oleh ganggang dan beberapa jenis bakteri untuk pertumbuhannya (Indge, 2002).

Sebelum adanya buangan lindi TPA Cipayung, Sungai Pesanggrahan memiliki konsentrasi total nitrogen sebesar 0,869792 mg-N/L yang dapat disebabkan oleh tumpukan sampah organik di beberapa titik di tepi sungai. Namun data tersebut tidak dapat merepresentasikan konsentrasi total nitrogen secara keseluruhan pada Sungai Pesanggrahan. Karena adanya buangan lindi, terjadi perubahan konsentrasi total nitrogen pada badan air penerima. Apabila limbah masuk ke dalam lingkungan, ada beberapa kemungkinan yang terjadi. Kemungkinan pertama yaitu lingkungan tidak mendapat pengaruh yang berarti karena volume, konsentrasi limbah kecil, serta parameter pencemar yang terdapat di dalam limbah jumlahnya sedikit. Kemungkinan kedua, ada pengaruh perubahan tapi tidak menyebabkan pencemaran. Kemungkinan ketiga, memberi perubahan dan menimbulkan pencemaran. Dalam kondisi ini, konsentrasi total nitrogen pada lindi besar yaitu sebesar 106,2 mg-N/L, namun debit lindi yang berpengaruh terhadap volume lindi masuk ke sungai tidak sebanding dengan debit Sungai Pesanggrahan sehingga lindi tersebut mengalami pengenceran di sungai dan hanya meningkatkan sedikit konsentrasi total nitrogen di sungai sekitar 0,06 mg-N/L. Namun semakin lama badan penerima menerima buangan lindi, semakin

tinggi pula konsentrasi bahan pencemar di dalamnya. Hal yang dapat terjadi ialah keadaan dimana badan air penerima tidak mampu lagi memulihkan keadaannya seperti semula karena pengaruh zat-zat pencemar yang masuk sudah terlalu besar.

Pada kondisi sebenarnya di lapangan, lindi dibuang ke sungai secara kontinu. Untuk memprediksi keberadaan total nitrogen di sungai dapat dilakukan dengan memodelkan total nitrogen di Sungai Pesanggrahan dengan beban yang masuk ke sungai secara kontinu. Input pencemar yang masuk ke badan air secara kontinu dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi pencemar tersebut pada badan air terhadap waktu (Chapra, 1997). Keberadaan pencemar yang berlebih, dalam penelitian ini adalah total nitrogen, dapat menimbulkan efek negatif terhadap lingkungan dan biota air.

Berdasarkan model total nitrogen dengan input lindi secara kontinu sesuai dengan keadaan di lapangan, konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan meningkat terhadap waktu. Dengan selang waktu selama 7,8125 detik, konsentrasi akan bertambah sebesar 0,125 mg-N/L. Dan penambahan konsentrasi tersebut akan meningkat seiring berjalannya waktu berdasarkan prediksi model. Dari hasil tersebut dapat dianalisa bahwa pembuangan lindi secara kontinu dapat meningkatkan konsentrasi pencemar seiring dengan berjalannya waktu akibat dari akumulasi konsentrasi pencemar di sungai. Sebagai contoh setelah waktu 78,125 detik, konsentrasi total nitrogen diperkirakan mencapai 3,274 mg-N/L. Peningkatan konsentrasi yang cukup cepat dapat disebabkan oleh adanya mekanisme dispersi di sungai. Sehingga dapat disimpulkan bahwa mekanisme purifikasi pencemar di Sungai Pesanggrahan kurang baik karena laju peluruhan dari total nitrogen setiap harinya sebesar 0,1328 mg-N/L tidak sebanding dengan beban nitrogen dari lindi yang masuk ke sungai yang mencapai 16644,7 gram/hari.

Sedangkan bila ditinjau dari dimensi jarak, konsentrasi akan berkurang terhadap jarak pada waktu yang sama. Hal ini disebabkan karena ada pengaruh adveksi dan laju peluruhan total nitrogen di perairan. Namun, penurunan konsentrasi sangat kecil akibat dari nilai laju peluruhan total nitrogen yang kecil. Selain itu pada proses adveksi hanya terjadi perpindahan senyawa tanpa mengubah komposisi dari senyawa tersebut (Chapra, 1997).

Di perairan, nitrogen akan bereaksi membentuk senyawa turunannya sesuai dari siklus nitrogen (Indge, 2000). Pertama, baik nitrogen organik yang berasal dari lindi TPA Cipayung atau Sungai Pesanggrahan itu sendiri mengalami perubahan pada pH rendah menjadi amonium, sedangkan bila lingkungan perairan memiliki pH yang tinggi, nitrogen organik berubah menjadi amonia. Kedua proses tersebut disebut dengan amonifikasi. Selanjutnya jika kondisi lingkungan memungkinkan, amonia akan berubah menjadi nitrat yang disebut dengan nitrifikasi. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju nitrifikasi yaitu keberadaan jumlah bakteri, pH, alkalinitas, kandungan oksigen terlarut, temperature, dan cahaya matahari. Nitrifikasi dapat direpresentasikan kedalam beberapa tahapan reaksi. Reaksi pertama, bakteri yang digolongkan ke dalam genus *Nitrosomonas* mengubah ion amonium (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-) pada pH rendah. Reaksi kedua yaitu bakteri dengan golongan genus *Nitrobacter* mengubah nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-). Jika oksigen terlarut dalam perairan rendah, nitrat akan mengalami reduksi menjadi nitrit dalam kondisi anaerob. Proses ini disebut dengan denitrifikasi.

Dari kondisi di lapangan, memungkinkan untuk terjadinya proses nitrifikasi akibat kondisi di lapangan yaitu temperatur sungai cenderung normal sekitar 25°C seperti temperatur di badan air pada umumnya. Temperatur air memiliki efek yang kuat untuk pertumbuhan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Beberapa penelitian mendokumentasikan bahwa proses nitrifikasi pada umumnya terjadi pada temperatur yang berkisar antara 25°C hingga 30°C (Waterbury, 1981). Selain itu keberadaan oksigen terlarut di Sungai Pesanggrahan yang berasal dari aerasi secara alami dapat membantu proses nitrifikasi.

Jika akan dibandingkan dengan baku mutu, total nitrogen dipecah menjadi senyawa nitrogen lainnya seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Sebagai contoh adalah amonia, konsentrasi amonia yang dikonversi dari ion amonium secara analitik melalui persamaan (3.4.10) pada di Sungai Pesanggrahan dapat mencapai $1,05 \text{ mg-NH}_3/\text{L}$ pada titik pencampuran antara lindi dengan Sungai Pesanggrahan. Konsentrasi tersebut telah melebihi batas maksimum pada PP No.82 Tahun 2001 dari air dengan kualiatas golongan I yaitu $0,5 \text{ mg-NH}_3/\text{L}$

sehingga air pada Sungai Pesanggrahan tidak dapat dijadikan sebagai sumber baku air minum. Namun peruntukan air pada peraturan tersebut tidak memberikan batas maksimum untuk air yang digunakan untuk perikanan seperti air yang digolongkan jenis II, III, dan IV. Padahal menurut Sawyer (2003), konsentrasi amonia pada perairan di atas 0,2 mg/L dapat menyebabkan kematian pada beberapa spesies ikan dan untuk faktor keamanan, amonia bebas pada air tidak boleh melebihi 0,02 mg/L (Committee on Water Quality Criteria, 1972). Perbedaan standar tersebut dapat disebabkan oleh keadaan perairan seperti pH dan temperatur air yang berpengaruh terhadap *ammonia toxicity*. Oleh karena itu jika pada kondisi sebenarnya diperkirakan konsentrasi amonia pada titik campuran antara lindi dengan Sungai Pesanggrahan mencapai 0,895 mg-NH₃/L tidak dapat disimpulkan bahwa biota air seperti ikan pada sungai tersebut telah mati karena amonia yang tidak terionisasi dipengaruhi oleh faktor pH dan temperatur air. Pada pH dan temperatur yang tinggi, amonia hadir dalam bentuk tidak terionisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Walaupun rata-rata temperatur sungai di Indonesia pada umumnya tinggi yaitu sebesar 25°C, namun jika pH air rendah atau normal tidak menghasilkan jumlah amonia tidak terionisasi yang besar.

Selain *ammonia toxicity* dan nitrifikasi, keberadaan nutrisi berlebih di sungai dapat menyebabkan eutrofikasi (Biggs, 2000). Eutrofikasi adalah pencemaran terhadap air yang terjadi karena terakumulasinya nutrisi atau unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan secara berlebihan di dalam ekosistem air (Frithsen, 1989). Nutrisi yang dimaksud dapat berupa nitrogen dan fosfat. Rasio nitrogen dengan fosfat pada biomassa berkisar antara 7,2. Pada air bersih, rasio nitrogen dengan fosfat dibawah 7,2 sehingga konsentrasi fosfat yang berlebih akan menghambat pertumbuhan tanaman. Jika dibandingkan dengan kondisi sebenarnya telah sesuai bahwa konsentrasi fosfat pada Sungai Pesanggrahan lebih besar dari nitrogen yaitu sekitar 3 mg/L sedangkan konsentrasi nitrogen akibat buangan lindi mencapai 0,9 mg/L pada titik pencampuran antara lindi dengan Sungai Pesanggrahan. Oleh karena itu konsentrasi fosfat yang berlebih akan menghambat pertumbuhan tanaman. Kondisi eutrofik sangat memungkinkan alga dan tumbuhan air berukuran mikro untuk tumbuh berkembang biak dengan pesat (*blooming*) akibat ketersediaan fosfat dan nitrogen yang berlebihan serta kondisi

lain yang memadai. Hal ini bisa dikenali dengan warna air yang menjadi kehijauan, berbau tak sedap, dan kekeruhan air yang semakin meningkat.

Jika dilihat pada kondisi sebenarnya, terdapat alga yang tumbuh pada saluran efluen lindi TPA Cipayung dan di hilir sungai. Dari kondisi tersebut dapat diidentifikasi bahwa terdapat nutrisi yang berlebih di sungai sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan alga.

Analisa keberadaan nitrogen dari model konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat lindi TPA Cipayung dengan beban impuls diuraikan pada tahap observasi di lapangan. Hal ini karena model total nitrogen dengan beban impuls yang dibuat sebelumnya tidak dapat diaplikasikan di lapangan akibat keterbatasan tempat untuk menampung lindi TPA Cipayung. Oleh karena itu, pada saat observasi lapangan saluran lindi akan ditutup selama 30 menit dan akan diperiksa konsentrasi total nitrogen akibat beban impuls tersebut. Hal tersebut sekaligus sebagai salah satu cara untuk mengetahui seberapa besar perbedaan hasil yang diperoleh antara model dengan observasi.

6.3 Analisa Perbandingan Model dengan Hasil Observasi

6.3.1 Analisa Model Observasi

Pengujian konsentrasi total nitrogen di lapangan setelah masuknya lindi TPA Cipayung ke Sungai Pesanggrahan dilakukan untuk mengetahui perbedaan perubahan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dan waktu berdasarkan hasil model dengan observasi. Output yang diharapkan pada proses ini adalah mengetahui besarnya penyimpangan yang terjadi pada model serta menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan antara hasil dari pemodelan dan observasi. Diharapkan dengan mengetahui faktor-faktor yang berperan tersebut dapat dilakukan suatu upaya untuk meminimalisasi penyimpangan yang terjadi untuk aplikasi model selanjutnya.

Untuk membandingkan konsentrasi hasil observasi dengan pemodelan, jarak dari titik efluen ke tempat pengambilan sampel serta waktu pengambilan sampel harus memiliki angka yang sama. Pada pemodelan yang telah dilakukan, jarak tiap segmen adalah sebesar 5 meter, dengan jarak tersebut cukup sulit untuk pengambilan sampel karena akses pengambilan sampel di sungai tidak mudah.

Selain itu titik yang akan diuji sebanyak 2 buah sehingga membutuhkan jarak 10 meter dari titik efluen sungai. Dengan pertimbangan tersebut, untuk memudahkan pengambilan sampel ditentukan jarak tiap segmen sebesar 2 meter. Jumlah segmen pada model yang telah dibuat sebelumnya berjumlah 20 buah sehingga panjang Sungai Pesanggrahan yang akan dimodelkan sebesar 40 meter. Minimalisasi panjang Sungai Pesanggrahan juga bertujuan untuk mengurangi adanya input beban lain ke sungai yang dapat mempengaruhi konsentrasi total nitrogen di sungai. Dengan jarak antar segmen (Δx) sebesar 2 meter menyebabkan perubahan nilai Δt yang akan menjadi input dalam perhitungan pada Metode Runge Kutta. Nilai Δt tersebut diperoleh dari hasil pembagian antara jarak antar segmen dibagi dengan kecepatan sungai. Selain nilai Δt , perubahan nilai Δx juga mempengaruhi nilai *bulk coefficient* untuk dispersi yang digunakan pada perhitungan konsentrasi terhadap jarak saat kondisi awal dengan Metode Volume Kontrol. Nilai *bulk coefficient* untuk Δx sebesar 2 meter adalah sebesar 83926,95 m³/hari dan jika dibandingkan dengan *bulk coefficient* untuk Δx sebesar 5 meter, nilai tersebut lebih besar karena semakin besar nilai Δx menyebabkan kemampuan dispersi sungai semakin mengecil.

Komponen model yang perlu diubah agar dapat dilakukan observasi yaitu beban total nitrogen yang berasal dari lindi TPA Cipayung. Pada saat input beban model sebelumnya, beban total nitrogen yang masuk diasumsikan setelah saluran lindi ditampung selama 1 hari. Pada aplikasi sebenarnya, lindi TPA Cipayung tidak dapat ditampung selama 1 hari karena keterbatasan tempat. Oleh karena itu, untuk dapat diaplikasikan di lapangan, lindi yang ditampung pada TPA Cipayung dibuat selama 30 menit yaitu sebesar 403,54 gram-N/hari. Selain komponen-komponen model yang telah disebutkan sebelumnya, komponen model lain seperti debit sungai (Q_r), konsentrasi total nitrogen di sungai (c_r), kecepatan aliran air di sungai (U), koefisien dispersi sungai (E), luas *cross section* sungai (A_c), diasumsikan sama.

Jika diringkas ke dalam tabel, terdapat perbedaan antara model awal dan model yang digunakan untuk observasi pada penelitian ini. Namun dari model tersebut tetap memiliki *governing equation* yang sama. Berikut ini adalah

perbedaan nilai input komponen model dari dua aplikasi model dengan input beban secara impuls.

Tabel 6.4. Perbedaan antara Model Awal dengan Observasi

	Awal	Observasi
Konsentrasi (c)	106,2 mg-N/L	123,58 mg-N/L
Beban (W)	16644,69136 gr-N/ hari	403,54 gram-N/hari
Jarak (Δx)	5 m	2 m
Waktu (Δt)	7,8125 detik	3,125 detik
<i>Bulk Coefficient (E')</i>	33570,33 m ² /hari	83926,95 m ² /hari
Panjang sungai (L)	100 m	40 m

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Konsentrasi yang akan dibandingkan adalah hasil dari model yang disusun untuk observasi dan pengukuran total nitrogen di lapangan pada perubahan terhadap jarak adalah $i = 1$ (2 meter dari titik efluen) dan $i = 2$ (4 meter dari titik efluen) pada saat $l = 1$ (3,125 detik setelah lindi masuk ke sungai). Sedangkan untuk perbandingan konsentrasi terhadap waktu, titik yang akan dibandingkan pada $i = 2$ (4 meter dari titik efluen) saat $l = 1$ (3,125 detik setelah lindi masuk ke sungai) dan $l = 2$ (6,25 detik setelah lindi masuk ke sungai). Penentuan titik-titik tersebut bertujuan untuk memudahkan pengambilan sampel di Sungai Pesanggrahan. Tidak memungkinkan bagi penulis untuk mengambil sampel di sungai pada jarak yang jauh dari titik efluen lindi karena keterbatasan akses.

Setelah memasukan komponen model ke dalam Metode Volume Kontrol untuk mengetahui perubahan konsentrasi terhadap jarak dalam kondisi *steady state*, selanjutnya data tersebut dimasukan sebagai dasar input untuk menentukan perubahan konsentrasi terhadap jarak dan waktu pada kondisi *unsteady* dengan menggunakan Metode Finite Diffrence-Runge Kutta, diperoleh hasil sesuai dengan tabel 6.6.

Konsentrasi total nitrogen akibat beban lindi secara impuls dengan penampungan lindi selama 30 menit tidak memberikan peningkatan yang signifikan terhadap konsentrasi lindi di sungai yaitu sebesar 0,001 mg-N/L. Hal

tersebut diakibatkan karena volume lindi yang dibuang ke sungai sangat kecil. Selain itu akibat beban impuls menyebabkan penurunan konsentrasi pencemar di sungai yang dapat dilihat pada tabel 6.6. Penurunan konsentrasi yang signifikan terhadap waktu tersebut dipengaruhi oleh mekanisme dispersi sungai. Dispersi adalah perpindahan massa akibat pergerakan air. Selain itu pada input model yang digunakan untuk perbandingan dengan observasi digunakan perbedaan jarak antar segmen yang kecil sebesar 2 meter. Jika dilihat pada persamaan keseimbangan massa di sungai sesuai dengan persamaan 3.4.1, semakin kecil jarak antar segmen sungai yang ditentukan, perubahan konsentrasi terhadap waktu akan semakin besar. Jarak antar segmen pada sungai berkaitan dengan *bulk coefficient* (E'). *Bulk coefficient* dapat diartikan sebagai nilai dispersi yang terjadi dalam suatu segmen yang besarnya berbanding terbalik dengan jarak antar segmen (Δx). Jika tidak ada input lain yang masuk sepanjang sungai yang dimodelkan, maka diprediksikan konsentrasi total nitrogen akan berkurang terhadap jarak dan waktu akibat beban lindi secara impuls.

Tabel 6.5. Perubahan Konsentrasi Total Nitrogen Terhadap Perubahan Jarak dan Waktu

c mg-N/L	l=0	l=1	l=2	l=3	l=4	l=5	l=6	l=7	l=8	l=9	l=10
i=0	0,87142771										
i=1	0,87142770	0,52664676									
i=2	0,87142769	0,52664676	0,31827862								
i=3	0,87142769	0,52664675	0,31827862	0,19235148							
i=4	0,87142768	0,52664675	0,31827862	0,19235147	0,11624749						
i=5	0,87142767	0,52664674	0,31827861	0,19235147	0,11624749	0,07025409					
i=6	0,87142766	0,52664674	0,31827861	0,19235147	0,11624749	0,07025409	0,04245801				
i=7	0,87142766	0,52664673	0,31827861	0,19235147	0,11624748	0,07025409	0,04245801	0,02565947			
i=8	0,87142765	0,52664673	0,31827861	0,19235147	0,11624748	0,07025409	0,04245801	0,02565947	0,01550729		
i=9	0,87142764	0,52664672	0,31827860	0,19235147	0,11624748	0,07025409	0,04245801	0,02565947	0,01550729	0,00937182	
i=10	0,87142763	0,52664672	0,31827860	0,19235146	0,11624748	0,07025409	0,04245801	0,02565947	0,01550729	0,00937182	0,00566385
i=11	0,87142762	0,52664671	0,31827860	0,19235146	0,11624748	0,07025409	0,04245801	0,02565947	0,01550729	0,00937182	
i=12	0,87142762	0,52664671	0,31827859	0,19235146	0,11624748	0,07025409	0,04245801	0,02565947	0,01550728		
i=13	0,87142761	0,52664671	0,31827859	0,19235146	0,11624748	0,07025409	0,04245801	0,02565947			
i=14	0,87142760	0,52664670	0,31827859	0,19235146	0,11624748	0,07025409	0,04245801				
i=15	0,87142759	0,52664670	0,31827859	0,19235145	0,11624748	0,07025409					
i=16	0,87142759	0,52664669	0,31827858	0,19235145	0,11624747						
i=17	0,87142758	0,52664669	0,31827858	0,19235145							
i=18	0,87142757	0,52664668	0,31827858								
i=19	0,87142756	0,52664668									
i=20	0,87142756										

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Untuk pengukuran konsentrasi total nitrogen berdasarkan observasi dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan. Pengambilan sampel dilakukan pada jarak 4 meter setelah titik efluen lindi TPA Cipayung saat 3,125 detik dan 6,25 detik sesudah lindi masuk ke Sungai Pesanggrahan untuk dibandingkan dengan model perubahan konsentrasi total nitrogen terhadap waktu. Sedangkan untuk dibandingkan dengan model perubahan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dilakukan pengambilan sampel pada jarak 2 meter dan 4 meter dari titik efluen setelah 3,125 detik lindi masuk ke Sungai Pesanggrahan.

Penutupan saluran lindi dilakukan selama 30 menit dengan menggunakan papan tipis. Hal tersebut bertujuan untuk membuat beban total nitrogen pada lindi secara impuls. Setelah 30 menit, papan dibuka hingga ketinggian air lindi pada kolam kembali seperti kemudian ditutup kembali. Pengambilan sampel dilakukan pada titik di sungai yang akan dibandingkan dengan hasil dari pemodelan. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam botol dan segera dibawa ke laboratorium untuk diawetkan terlebih dahulu sebelum diperiksa konsentrasi total nitrogen. Pengawetan sampel dilakukan dengan cara memasukan sampel ke dalam lemari pendingin tanpa diberikan larutan yang dapat dijadikan pengawet seperti asam kuat. Pemeriksaan total nitrogen tidak dapat dilakukan pada hari yang sama setelah pengambilan sampel karena keterbatasan waktu, mengingat lamanya pengambilan sampel dan waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa konsentrasi total nitrogen cukup lama yaitu sekitar 2-2,5 jam untuk 1 sampel.

Sampel yang akan diukur konsentrasi total nitrogen berjumlah 4 buah dimana 1 sampel berupa lindi TPA Cipayung dan 3 sampel lain merupakan air sungai yang telah tercemar oleh lindi TPA Cipayung. Pengukuran total nitrogen menggunakan Metode Kjeldahl berdasarkan JIS. Konsep dari pengukuran total nitrogen pada JIS adalah konsentrasi total nitrogen sebanding dengan nitrogen organik ditambah amonia dan sebanding juga dengan nitrat ditambah nitrit. Pada konsep ini diasumsikan bahwa semua nitrogen organik dan amonia teroksidasi sempurna menjadi nitrit dan nitrat.

6.3.2 Analisa Konsentrasi terhadap Waktu Berdasarkan Model dan Observasi

Setelah dilakukan pengukuran, maka hasil konsentrasi yang diperoleh dari observasi akan dibandingkan dengan konsentrasi yang diperoleh dari hasil model yang disusun untuk observasi. Besarnya perbedaan antar kedua hasil tersebut dapat dihitung dengan persamaan (3.4.10). Berikut ini merupakan perbedaan hasil antara kedua sumber tersebut.

Tabel 6.6. Perbandingan Konsentrasi antara Model dengan Observasi Terhadap Waktu

Waktu (s)	Model c (mg-N/L)	Observasi c (mg-N/L)	Perbedaan Hasil (%)
3,125	0,526646756	0,5544924	5,021826058
6,25	0,318278622	0,34947	8,925337724

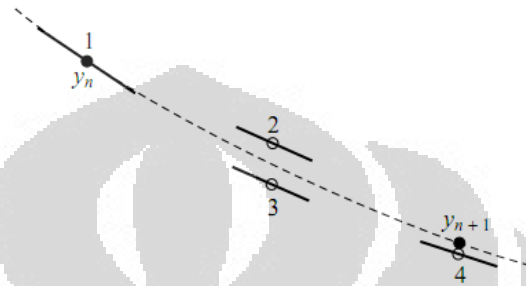
Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Berdasarkan perbandingan perubahan konsentrasi terhadap waktu hasil model dengan hasil observasi, terdapat perbedaan yang tidak signifikan yaitu sebesar 5,0218% pada waktu 3,125 detik dari dan 8,925% pada waktu 6,25 setelah lindi masuk ke Sungai Pesanggrahan.

Dari hasil tersebut dapat dianalisa bahwa keseimbangan massa di Sungai Pesanggrahan pada model dapat menggambarkan kondisi sungai di lapangan. Dengan adanya dispersi di sungai menyebabkan penurunan konsentrasi total nitrogen yang cukup besar. Sedangkan adveksi dan laju peluruhan total nitrogen hanya berperan sangat sedikit dalam penurunan konsentrasi pencemar. Hal lain yang menyebabkan perbedaan konsentrasi antara model dengan observasi adalah pada pengaplikasian metode numerik yang digunakan.

Metode Runge Kutta merupakan metode yang paling umum digunakan pada pemodelan kualitas air dalam memprediksi perubahan konsentrasi terhadap waktu karena memiliki ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan metode numerik lainnya seperti Metode Heun dan Metode Euler. Ketelitian yang dimiliki oleh Metode Runge Kutta akibat pendekatan *slope* hingga orde empat. Sedangkan untuk Metode Euler dan Heun dapat dikatakan sebagai Metode Runge Kutta orde

satu dan dua. Dapat juga disimpulkan bahwa Metode Runge Kutta merupakan pengembangan dari kedua metode tersebut. Pendekatan *slope* hingga orde 4 ditunjukkan dengan evaluasi kemiringan garis yang dilakukan sebanyak 4 kali, 1 kali pada saat kondisi awal, 2 kali pada titik tengah antara nilai satu dengan nilai yang lainnya, dan 1 kali pada titik (nilai) akhir yang dituju. Untuk memahami pendekatan Metode Runge Kutta dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6.5. Pendekatan Metode Runge Kutta
(Numerical Recipe in Fortran, 1992)

Namun pada perhitungan secara numerik terdapat kelemahan berupa adanya faktor kesalahan (error) karena perhitungan numerik merupakan metode pendekatan yang dilakukan untuk menyelesaikan suatu persamaan diferensial yang sulit diselesaikan secara matematik. Sesuatu yang didasari oleh pendekatan tentunya memiliki nilai kesalahan. Walaupun perbedaan hasil yang diperoleh antara model dan observasi tidak besar, kesalahan (error) yang terjadi dapat disebabkan oleh kelemahan Metode Runge Kutta itu sendiri. Kelemahan dari metode ini dapat ditinjau dari proses perhitungan konsentrasi terhadap waktunya. Sebagai contoh, untuk menghitung konsentrasi pada saat $l = 2$ hanya memperhitungkan nilai dari konsentrasi pada saat $l = 1$, konsentrasi pada saat $l = 0$ tidak diperhitungkan dalam proses ini, begitu pula selanjutnya untuk mencari konsentrasi saat $l = 3$, $l = 4$, dan seterusnya. Konsentrasi yang diperoleh dari hasil observasi tidak dapat disesuaikan dengan konsentrasi pada model karena perbedaan konsentrasi pada model terhadap waktu cukup signifikan. Sebagai contoh, pada waktu 3,125 detik setelah lindi dibuang ke sungai ($l = 1$), konsentrasi yang diperoleh dari hasil observasi sebesar 0,5544924 mg-N/L tidak dapat dibandingkan dengan $l = 0$ atau $l = 2$ pada model karena perbedaan konsentrasi yang cukup signifikan antar perbedaan waktu tersebut. Lain halnya dengan model

konsentrasi terhadap jarak yang memiliki sedikit sekali perubahan terhadap jarak tempuh pencemar di sungai akibat tidak adanya mekanisme dispersi.

Selain dari faktor model, faktor lingkungan pada saat pengambilan sampel juga berpengaruh terhadap hasil observasi. Dapat dilihat pada tabel 6.7 bahwa konsentrasi total nitrogen hasil yang diperoleh dari observasi lebih besar dari hasil model yaitu masing-masing sebesar 0,027 dan 0,031 mg-N/L. Hal ini dapat disebabkan pada saat pengambilan sampel, lindi belum tercampur secara sempurna di sungai sehingga konsentrasi pencemar dapat lebih tinggi pada sampel. Hal lain yang dapat mempengaruhi konsentrasi dari observasi lebih besar dari model yaitu adanya input lain di sungai yang menyebabkan peningkatan konsentrasi total nitrogen di sungai seperti adanya sampah organik serta sisa metabolisme biota air. Namun kemungkinan tersebut kecil karena saat pengambilan sampel, di sekitar sungai setelah titik efluen hanya sedikit sampah organik yang terbawa arus sungai. Selain itu titik pengambilan sampel berada tidak jauh dari titik efluen lindi yaitu sebesar 2 meter dan 4 meter sehingga adanya input dari sumber lain memiliki kemungkinan cukup kecil untuk jarak seperti itu.

6.3.3 Analisa Konsentrasi Terhadap Jarak Berdasarkan Model dan Observasi

Perbedaan konsentrasi terhadap jarak yang diperoleh dari model dan observasi dihitung berdasarkan persamaan yang sama dengan sebelumnya yaitu persamaan (3.4.10) dimana konsentrasi total nitrogen yang diperoleh dari observasi dikurangi dengan konsentrasi terhadap model dan kemudian dibagi dengan konsentrasi hasil observasi. Berikut ini merupakan tabel perbandingan konsentrasi terhadap waktu berdasarkan model dengan observasi.

Tabel 6.7. Perbandingan Konsentrasi antara Model dengan Observasi Terhadap Jarak

Jarak (m)	Model c (mg-N/L)	Observasi c (mg-N/L)	Perbedaan Hasil (%)
2	0,526646761	0,5544924	5,0218
4	0,526646756	0,532748	1,1452

Sumber: Pengolahan Penulis, 2011

Jika dibandingkan hasil observasi dengan model konsentrasi terhadap waktu, model konsentrasi terhadap jarak memiliki perbedaan yang lebih kecil dengan nilai observasi yaitu sebesar 5,0218% pada jarak 2 meter setelah titik efluen ($i=1$) dan 1,1452% pada jarak 4 meter setelah titik efluen ($i=2$).

Perbedaan yang cukup kecil menandakan bahwa metode numerik yang digunakan cukup dapat mewakili konsentrasi total nitrogen di sungai akibat lindi TPA Cipayung dengan batasan bahwa tidak ada input lain yang masuk ke sungai yang dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi dan tidak terjadi hujan yang dapat mengurangi konsentrasi pencemar. Metode numerik yang digunakan untuk memodelkan konsentrasi terhadap jarak sebenarnya merupakan hasil dari Metode Runge-Kutta yang digunakan pada saat penyusunan model berdasarkan konsentrasi terhadap waktu pada kondisi awal dengan Metode Volume Kontrol saat kondisi *steady state*. Dari hasil tersebut dapat dianalisa bahwa metode volume kontrol dapat digunakan sebagai salah satu pendekatan dalam menghitung perubahan konsentrasi terhadap jarak. Pengambilan titik sampel yang tidak jauh dari titik efluen dapat meminimalisasi pengaruh kemungkinan input lain yang dapat mempengaruhi hasil observasi.

Namun terdapat perbedaan yang mendasar antara kedua hasil tersebut yaitu dalam hal besarnya penurunan konsentrasi terhadap jarak. Pada model, penurunan konsentrasi sangat kecil karena komponen model yang berpengaruh terhadap penurunan tersebut adalah proses adveksi dan laju peluruhan total nitrogen. Adveksi tidak menyebabkan perubahan identitas/komponen dari pencemar pada saat mekanisme transportasinya, lain halnya dengan mekanisme dispersi. Namun mekanisme dispersi tidak berperan dalam dimensi spasial/jarak sesuai pada gambar (2.10). Konsentrasi yang diperoleh dari hasil observasi memiliki penurunan yang cukup signifikan yaitu sekitar 0,02 mg-N/L. Hal tersebut dapat disebabkan baik oleh nilai kesalahan/error yang terdapat pada Metode Runge Kutta maupun karena kondisi lingkungan saat pengambilan sampel yang telah dijelaskan sebelumnya pada analisa model konsentrasi terhadap waktu.

Dari nilai perbedaan hasil observasi dengan model tidak dapat dijadikan sebagai data untuk validasi model akibat keterbatasan data observasi yang dibandingkan dengan model. Selain itu, pengambilan sampel untuk data observasi

dilakukan hanya dalam satu kondisi dimana pengambilan sampel dilakukan saat tidak terjadi hujan sebelumnya sehingga tidak ada pengenceran konsentrasi pencemar di sungai maupun pada lindi. Oleh karena itu, pada tahap ini hanya hanya sebagai pendekatan untuk mengetahui penyimpangan hasil model yang telah disusun. Dari grafik konsentrasi terhadap waktu dan jarak pada model, memiliki sedikit perbedaan dengan hasil observasi yaitu sekitar 1-8%.

Dari analisa yang telah dipaparkan sebelumnya dapat dikatakan bahwa model telah memiliki *trend* yang sama dengan observasi yaitu konsentrasi total nitrogen akan berkurang terhadap perubahan jarak dan waktu. Selain itu, terdapat perbedaan yang cukup kecil antara model dengan observasi pada titik/segmen yang dibandingkan yaitu sekitar 1-8 % untuk perubahan konsentrasi terhadap waktu dan jarak. Secara umum, model dapat memprediksi konsentrasi total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat buangan lindi TPA Cipayung secara impuls dengan batasan bahwa tidak ada input lain yang masuk ke sungai sepanjang Sungai Pesanggrahan yang dimodelkan.

6.3.4 Analisa Konsentrasi Total Nitrogen Berdasarkan Model Observasi

Konsentrasi pencemar dalam hal ini total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan yang diakibatkan oleh buangan lindi TPA Cipayung akan menurun terhadap jarak dan waktu jika lindi dari TPA tersebut dibuang secara impuls seperti yang tercantum pada tabel 6.6 dengan batasan bahwa sepanjang sungai yang dimodelkan tidak ada input lain yang masuk ke dalam sungai yang dapat meningkatkan konsentrasi total nitrogen dan tidak terjadi hujan yang dapat menambah proses pengenceran konsentrasi pencemar di sungai.

Jika konsentrasi nitrogen dibandingkan dengan baku mutu, senyawa nitrogen harus dipecah menjadi senyawa turunannya. Senyawa dari nitrogen yang pada umumnya sering dianalisa yaitu amonia dan nitrat karena konsentrasinya yang melebihi baku mutu dapat menyebabkan *ammonia toxicity* dan nitrifikasi pada perairan. Pemecahan senyawa total nitrogen menjadi amonia dan nitrat berdasarkan persamaan (3.4.10) dan (3.4.12) dengan asumsi bahwa total nitrogen sebanding dengan nitrogen organik dan amonia dan sebanding dengan nitrit ditambah nitrat berdasarkan *Japanese International Standard*. Jika ion amonium

dari total nitrogen pada tabel 6.6 dikonversi menjadi amonia, konsentrasi amonia jika lindi TPA Cipayung dibuang secara impuls berkurang menjadi 0,387 mg-NH₃/L dan telah memenuhi baku mutu PP No.82 Tahun 2001 dimana batas maksimum amonia di perairan untuk golongan I sebesar 0,5 mg-NH₃/L. Sehingga jika ditinjau dari senyawa amonia, air tersebut dapat menjadi salah satu sumber baku air minum dimana menurut peraturan tersebut senyawa golongan I diperuntukan bagi sumber baku air minum dan peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Selain itu dampak yang ditimbulkan akibat keberadaan amonia yang tidak terionisasi dapat dicegah seperti pengurangan dampak dari *ammonia toxicity* yang telah dijelaskan pada analisa keberadaan nitrogen pada kondisi sebenarnya dalam sub bab 6.2.6. Dengan menurunnya konsentrasi amonia atau ion amonium di dalam perairan akan mengurangi pembentukan nitrat pada proses nitrifikasi di perairan jika keadaan di lingkungan mendukung seperti tersedianya oksigen terlarut yang cukup dan kehadiran bakteri yang berperan dalam dalam proses nitrifikasi.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari pemodelan total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat input lindi TPA Cipayung secara impuls dapat disimpulkan bahwa:

- a. Berdasarkan model total nitrogen yang telah dibuat melalui pemodelan numerik dengan Metode Finite Difference Runge Kutta, pembuangan lindi dengan beban impuls menyebabkan penurunan konsentrasi total nitrogen terhadap jarak dan waktu di Sungai Pesanggrahan.
- b. Setelah melakukan simulasi dengan perbedaan jarak setiap 2 meter, konsentrasi total nitrogen akan berkurang sebesar 7×10^{-9} mg-N/L secara konstan sehingga menghasilkan grafik penurunan konsentrasi yang linier. Sedangkan perubahan konsentrasi total nitrogen terhadap waktu tidak menghasilkan penurunan yang konstan sehingga membentuk grafik penurunan konsentrasi secara eksponensial. Pada 3,125 detik pertama, penurunan konsentrasi total nitrogen mencapai 0,3 mg-N/L. Perubahan konsentrasi yang kecil terhadap jarak diakibatkan pada variabel ini hanya berlangsung mekanisme adveksi dan reaksi peluruhan total nitrogen. Sedangkan pada variabel waktu terdapat mekanisme dispersi pada sungai yang menyebabkan perpindahan massa senyawa akibat pergerakan air.
- c. Perbedaan konsentrasi total nitrogen pada Sungai Pesanggrahan yang diperoleh antara model dan observasi cukup kecil. Berdasarkan perubahan konsentrasi terhadap waktu, diambil titik saat 3,125 detik dan 6,25 detik pada jarak 4 meter setelah outlet lindi TPA Cipayung, selanjutnya diperoleh perbedaan hasil sekitar 5-8%. Sedangkan untuk perubahan konsentrasi terhadap jarak, titik di sungai diambil pada waktu 3,125 detik setelah lindi dibuang dengan jarak 2 dan 4 meter dari titik outlet lindi, selanjutnya diperoleh perbedaan hasil antara model dan observasi sekitar 1-5%. Dari data konsentrasi total nitrogen berdasarkan model dengan observasi dapat

dikatakan bahwa *trend* nilai konsentrasi dari hasil observasi menyerupai hasil model dimana konsentrasi mengalami penurunan terhadap jarak dan waktu.

7.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini yaitu pemodelan total nitrogen di Sungai Pesanggrahan akibat input lindi TPA Cipayung secara impuls adalah:

- a. Dalam memodelkan kualitas air permukaan, hal yang perlu diperhatikan untuk meminimalisasi perbedaan hasil antara model dengan observasi ialah penentuan karakteristik badan air penerima, sumber pencemar, serta parameter pencemar yang akan dimodelkan sehingga input yang dimasukkan dalam proses pemodelan secara garis besar telah mewakili kondisi di lapangan.
- b. Setelah terbentuk model, perlu dilakukan proses validasi untuk menentukan apakah model tersebut dapat diaplikasikan pada kondisi sebenarnya di lapangan. Sebagai contoh, perlu diuji kembali nilai dari debit sungai, kecepatan aliran sungai, dan koefisien laju peluruhan total nitrogen.
- c. Diperlukan perbaikan dalam pengolahan lindi TPA Cipayung mengingat kualitas lindi tersebut melebihi baku mutu KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri. Pembuangan lindi ke Sungai Pesanggrahan menyebabkan peningkatan konsentrasi pencemar, salah satunya adalah total nitrogen. Walaupun lindi TPA Cipayung mengalami pengenceran di Sungai Pesanggrahan, namun lindi yang dibuang secara kontinu akan menyebabkan akumulasi total nitrogen di sungai dan seiring dengan perubahan waktu badan air penerima tidak mampu lagi memulihkan keadaannya seperti semula. Tindakan yang dapat dilakukan oleh pihak TPA untuk mengurangi pencemaran akibat lindi TPA yaitu meningkatkan efektivitas pengolahan lindi TPA Cipayung. Selain itu pembuangan lindi secara impuls diprediksikan dapat menurunkan konsentrasi total nitrogen di sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Aeronautics and Astronautics. (1998). *Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations* AIAA-G-077-1998.
- Biggs, Barry J.F. (2002). *Eutrophication of Streams and Rivers: Dissolved Nutrient-Chlorophyll Relationships for Benthic Algae*. Journal of the North American Benthological Society. Vol. 19, No. 1, pp.17-31.
- BPLHD DKI Jakarta. (2002). *Data Pemantauan Kualitas Air Sungai di Propinsi DKI Jakarta*. Jakarta
- Cai J.B., Ding X.F., Peng H.Y., Chang H.Q., & Yang X.E. (2007). *Effects of environmental factors and submerged aquatic plants on phosphorus release from the sediment*. Journal of Soil and Water Conservation, 21,151–154.
- Chapra, Steven C. (1997). *Surface water-quality modelling*. Singapore: McGraw-Hill.
- Cohen, Julius B. (1910). *Practical Organic Chemistry*
- Committee on Water Quality Criteria. (1972). *Water Quality Criteria*. Washington, DC.
- Edmondson, W.T. (1970). *Phosphorus, Nitrogen, and Algae in Lake Washington after Diversion of Sewage*. Journal of Soil and Water Conservation . Vol 169, No. 3946, pp. 690-691.
- Effendi, Hefni. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisius.
- Fardiaz, Srikandi. (1992). *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Frithsen, J. B. (1989). *Marine Eutrophication: Nutrient loading, Nutrient effects and The Federal Response*. University of Rhode Island
- Gaudy, A.F & Gaudy, E.T. (1980). *Microbiology for Environmental Scientists and Engineer*. New York : McGraw-Hill.
- Gujer, W & D.Jenkins. (1974). *A Nitrification Model for Contact Stabilization Activated Sludge Process*.
- Hillway, Tyrus. (1956). *Introduction to Research*. Boston: Houghton Mifflin Company

- Howard., W. S., Pickmere., & J. Davies. (1983). *Decay rates and nitrogen dynamics of decomposing watercress*. Journal of Hydrobiologia. Vol. 99, No.3, 207-214
- Huet,M. (1970).*Text Book of Fish Oulture Fishing News Ltd*. Inggris
- Indge, B. (2000).*The nitrogen cycle*. Biol Sci Rev 13, 25–27.
- Li, Zhilin. *Finite Difference Methods Basics*. Center for Research in Scientific Computation & Department of Mathematics North Carolina State University.
- Mahida, U.N. (1986). *Pencemaran air*. Jakarta : Rajawali.
- Manahan, Stanley. (2005). *Environmental chemistry* (8th ed.). USA: CRC Press.
- Nazir, M. (1988). *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Novotny, V & Olem, H. (1993). *Water Quality Prevention, Identification and Management of Difuse Pollution*. New York: Van Nostrand
- Numerical Recipes In Fortran. (1992). *The Art of Scientific Computing*. (ISBN 0-521-43064-X).
- Sastrawijaya, T.A. (1991). *Pencemaran lingkungan*, Jakarta: Rineka Cipta.
- Sawyer, Clair N., Perry L. Mc Carty, & Gene F. Parkin. (2003). *Chemistry for Environmental Eengineering and Science* (5th ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Skadsen, J. & Larry, S. (1996). *The Effectiveness of High pH for Control of Nitrification and the Impact of Ozone on Nitrification Control*. In Proc. 1996 AWWA Water Quality Technology Conference. Boston: AWWA.
- SNI 06-2479-1991. *Metode Pengujian Kadar Amonium dalam Air dengan Alat Spektrofotometer secara Nessler*.
- Standar Nasional Indonesia 06-2412-1991.(1991). *Metode Pengambilan Kualitas Air*.
- Singarimbun, M., & Effendi, S.(1995).*Metode Penelitian Survai*. Jakarta: LP3ES
- The Ashepoo-Combahee-Edisto (ACE) Basin region of South Carolina. <http://www.nerrs.noaa.gov/doc/siteprofile/acebasin/html/modules/watqua/wmeutro.htm>. *Euthropication*
- Thomann., R.V., & Muller., J.A. (1982). *Verification of Water Quality Models*. Journal of Environmental Engineering. Vol.108, No.EE 5, 923-940.

- Tchobanoglous, George, Hilary Theisen, & Samuel Vigil. (1993). *Integrated Solid Waste Managemet*. Singapore: McGraw-Hill.
- University of Leeds. (2009). *An introduction to fluid mechanics: statics, dynamics, momentum, real fluids, dimensional analysis*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2002). *Nitrification*. November 19, 2010. http://www.epa.gov/safewater/disinfection/tcr/pdfs/whitepaper_tcr_nitrification.pdf.
- Vogel, S. (1994). *Life in Moving Fluids 2nd Edition*. Princeton: Princeton University Press.
- Watson, S.W., F.W. Valos, & J.B. Waterbury. (1981). *The Family Nitrobacteraceae In The Prokaryotes*. Edited by M.P. Starr. Berlin: Springer-Verlag.
- Wolfe, R.L., & N.I. Lieu. (2001). *Nitrifying Bacteria in Drinking Water*. In *Encyclopedia of Environmental Microbiology*, Edited by G. Bitton. New York: John Wiley and Sons.
- Wolff, J.C., Ulf O., Philip D.P., & Paul D.B. (1997). *Stability studies and purification procedure for nitrite solutions in view of the preparation of isotopic reference materials*.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Pemeriksaan Total Nitrogen (JIS)

- Ambil 50 ml sampel, jika pH belum netral tambahkan NaOH (40 gr/l) atau H₂SO₄ hingga mencapai pH 7.
- Tambahkan 3 gr devarda alloy
- Destruksi sampel selama 30 menit
- Destilasi sampel selama 2 jam dengan H₂SO₄ 25 mmol sebagai larutan penangkap amonium
- Ukur absorbansi larutan penangkap amonium
- Lakukan prosedur a sampai e untuk blanko
- Ukur absorbansi air (blanko) tanpa dilakukan proses destilasi dan destruksi
- Ukur absorbansi sampel tanpa dilakukan proses destilasi dan destruksi
- Kalkulasikan konsentrasi total nitrogen dengan persamaan sebagai berikut.

$$N = \left(a \times \frac{1000}{V} \times \frac{200}{25} \times 0,7766 \right) + \left(b \times \frac{1000}{V} \times \frac{200}{25} \times 0,7766 \right)$$

dimana :

N : total nitrogen (mg-N/L)

a : ion amonium yang diperoleh dari proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄⁺)

b : ion amonium yang diperoleh tanpa proses destruksi dan destilasi (mg-NH₄⁺)

V : volume sampel (ml)

1000 : konversi satuan ml menjadi L

200/25 : faktor jumlah ion amonium pada blanko

0,7766 : faktor konversi dari ion amonium menjadi nitrogen berdasarkan massa molekul relatifnya

Lampiran 2. Perhitungan Konsentrasi terhadap Jarak ($\Delta x=5 \text{ m}$) dengan Metode Kontrol Volume

$$[A]\{c\} = \{W\}$$

280454,0412	-33591,6616	0	0	0	0	.	0	0	c1	16644,69136
-280451,15	314045,7027	-33591,6616	0	0	0	.	0	0	c2	0
0	-280451,15	314045,7027	-33591,662	0	0	.	0	0	c3	0
0	0	-280451,15	314045,703	-33591,6616	0	.	0	0	c4	0
0	0	0	-280451,15	314045,7027	-33591,6616	.	0	0	c5	0
0	0	0	0	-280451,15	314045,7027	.	0	0	c6	0
0	0	0	0	0	-280451,15	.	0	0	c7	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c8	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c9	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c10	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c11	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c12	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c13	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c14	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c15	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c16	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c17	0
0	0	0	0	0	0	.	-33591,6616	0	c18	0
0	0	0	0	0	0	.	314045,7027	-33591,6616	c19	0
0	0	0	0	0	0	.	-280451,15	280454,0412	c20	0

$$\{c\} = [A^{-1}]\{W\}$$

c	x	c (mg-N/L)	c total (mg-N/L)
0	0		0,937217664
1	5	0,067424874	0,937216874
2	10	0,067424084	0,937216084
3	15	0,067423294	0,937215294
4	20	0,067422505	0,937214505
5	25	0,067421715	0,937213715
6	30	0,067420925	0,937212925
7	35	0,067420135	0,937212135
8	40	0,067419346	0,937211346
9	45	0,067418556	0,937210556
10	50	0,067417766	0,937209766
11	55	0,067416977	0,937208977
12	60	0,067416187	0,937208187
13	65	0,067415397	0,937207397
14	70	0,067414608	0,937206608
15	75	0,067413818	0,937205818
16	80	0,067413028	0,937205028
17	85	0,067412239	0,937204239
18	90	0,067411451	0,937203451
19	95	0,067410672	0,937202672
20	100	0,067409977	0,937201977

Lampiran 3. Perhitungan Runge Kutta untuk $\Delta t = 7,8125$ detik

x	i	l=1 (t= 7,8125 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1	1444,85000550	1545,55455605	1039,45872602	1589,74840107	0,81356982
10	2	1444,84878793	1545,55325362	1039,45785007	1589,74706140	0,81356913
15	3	1444,84757031	1545,55195113	1039,45697408	1589,74572167	0,81356845
20	4	1444,84635270	1545,55064866	1039,45609811	1589,74438195	0,81356776
25	5	1444,84513511	1545,54934620	1039,45522214	1589,74304225	0,81356708
30	6	1444,84391753	1545,54804376	1039,45434619	1589,74170256	0,81356639
35	7	1444,84269997	1545,54674133	1039,45347024	1589,74036289	0,81356571
40	8	1444,84148242	1545,54543892	1039,45259431	1589,73902324	0,81356502
45	9	1444,84026488	1545,54413652	1039,45171839	1589,73768360	0,81356434
50	10	1444,83904736	1545,54283414	1039,45084247	1589,73634398	0,81356365
55	11	1444,83782985	1545,54153177	1039,44996657	1589,73500437	0,81356297
60	12	1444,83661236	1545,54022942	1039,44909068	1589,73366478	0,81356228
65	13	1444,83539488	1545,53892708	1039,44821479	1589,73232521	0,81356159
70	14	1444,83417740	1545,53762475	1039,44733891	1589,73098564	0,81356091
75	15	1444,83295988	1545,53632236	1039,44646300	1589,72964601	0,81356022
80	16	1444,83174178	1545,53501937	1039,44558667	1589,72830575	0,81355954
85	17	1444,83051884	1545,53371119	1039,44470686	1589,72696017	0,81355885
90	18	1444,82925537	1545,53235966	1039,44379789	1589,72556999	0,81355817
95	19	1444,82765317	1545,53064579	1039,44264523	1589,72380712	0,81355753
100	20					

x	i	l=2 (t= 15,625 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2	1254,22983888	1341,64836103	902,32214104	1380,01167826	0,70623493
15	3	1254,22878187	1341,64723035	902,32138061	1380,01051525	0,70623434
20	4	1254,22772491	1341,64609972	902,32062021	1380,00935230	0,70623374
25	5	1254,22666797	1341,64496911	902,31985982	1380,00818936	0,70623315
30	6	1254,22561104	1341,64383851	902,31909944	1380,00702643	0,70623255
35	7	1254,22455412	1341,64270793	902,31833907	1380,00586352	0,70623196
40	8	1254,22349721	1341,64157736	902,31757870	1380,00470062	0,70623136
45	9	1254,22244032	1341,64044680	902,31681835	1380,00353774	0,70623077
50	10	1254,22138344	1341,63931626	902,31605800	1380,00237486	0,70623017
55	11	1254,22032657	1341,63818572	902,31529767	1380,00121201	0,70622958
60	12	1254,21926971	1341,63705520	902,31453734	1380,00004916	0,70622898
65	13	1254,21821286	1341,63592469	902,31377702	1379,99888632	0,70622839
70	14	1254,21715600	1341,63479416	902,31301668	1379,99772347	0,70622779
75	15	1254,21609887	1341,63366335	902,31225616	1379,99656032	0,70622720
80	16	1254,21503948	1341,63253013	902,31149401	1379,99539469	0,70622660
85	17	1254,21396112	1341,63137661	902,31071822	1379,99420819	0,70622601
90	18	1254,21272421	1341,63005349	902,30982835	1379,99284723	0,70622543
95	19					
100	20					

x	i	l=3 (t= 23,4375 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3	1088,75833657	1164,64366621	783,27809057	1197,94568165	0,61306082
20	4	1088,75741910	1164,64268479	783,27743052	1197,94467216	0,61306030
25	5	1088,75650161	1164,64170335	783,27677046	1197,94366266	0,61305978
30	6	1088,75558413	1164,64072192	783,27611040	1197,94265317	0,61305927
35	7	1088,75466666	1164,63974051	783,27545035	1197,94164369	0,61305875
40	8	1088,75374920	1164,63875910	783,27479031	1197,94063423	0,61305823
45	9	1088,75283175	1164,63777771	783,27413028	1197,93962477	0,61305772
50	10	1088,75191432	1164,63679633	783,27347025	1197,93861533	0,61305720
55	11	1088,75099689	1164,63581496	783,27281024	1197,93760590	0,61305668
60	12	1088,75007948	1164,63483360	783,27215022	1197,93659648	0,61305617
65	13	1088,74916205	1164,63385224	783,27149021	1197,93558705	0,61305565
70	14	1088,74824452	1164,63287075	783,27083011	1197,93457750	0,61305513
75	15	1088,74732593	1164,63188813	783,27016926	1197,93356679	0,61305462
80	16	1088,74639846	1164,63089602	783,26950202	1197,93254631	0,61305410
85	17	1088,74539678	1164,62982453	783,26878139	1197,93144418	0,61305360
90	18					
95	19					
100	20					

x	i	l=4 (t= 31,25 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3					
20	4	945,11761630	1010,99133634	679,93961286	1039,89979141	0,53217923
25	5	945,11681985	1010,99048438	679,93903987	1039,89891509	0,53217879
30	6	945,11602342	1010,98963244	679,93846690	1039,89803879	0,53217834
35	7	945,11522701	1010,98878052	679,93789394	1039,89716250	0,53217789
40	8	945,11443060	1010,98792860	679,93732099	1039,89628623	0,53217744
45	9	945,11363420	1010,98707669	679,93674804	1039,89540996	0,53217699
50	10	945,11283781	1010,98622480	679,93617510	1039,89453370	0,53217654
55	11	945,11204143	1010,98537291	679,93560216	1039,89365746	0,53217610
60	12	945,11124505	1010,98452102	679,93502923	1039,89278121	0,53217565
65	13	945,11044862	1010,98366908	679,93445626	1039,89190491	0,53217520
70	14	945,10965170	1010,98281662	679,93388294	1039,89102807	0,53217475
75	15	945,10885064	1010,98195972	679,93330663	1039,89014667	0,53217430
80	16	945,10801483	1010,98106566	679,93270534	1039,88922705	0,53217386
85	17					
90	18					
95	19					
100	20					

x	i	l=5 (t= 39,0625 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3					
20	4					
25	5	820,42752612	877,61047588	590,23465955	902,70501636	0,46196842
30	6	820,42683479	877,60973636	590,23416218	902,70425569	0,46196803
35	7	820,42614345	877,60899684	590,23366482	902,70349502	0,46196764
40	8	820,42545212	877,60825732	590,23316746	902,70273436	0,46196725
45	9	820,42476080	877,60751782	590,23267011	902,70197371	0,46196686
50	10	820,42406948	877,60677832	590,23217276	902,70121306	0,46196647
55	11	820,42337817	877,60603883	590,23167541	902,70045243	0,46196609
60	12	820,42268684	877,60529931	590,23117806	902,69969177	0,46196570
65	13	820,42199529	877,60455956	590,23068054	902,69893086	0,46196531
70	14	820,42130180	877,60381773	590,23018162	902,69816782	0,46196492
75	15	820,42059205	877,60305851	590,22967101	902,69738689	0,46196453
80	16					
85	17					
90	18					
95	19					
100	20					

x	i	l=6 (t= 46,875 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3					
20	4					
25	5					
30	6	712,18789500	761,82665445	512,36454940	783,61045300	0,40102057
35	7	712,18729487	761,82601250	512,36411765	783,60979269	0,40102024
40	8	712,18669475	761,82537055	512,36368592	783,60913239	0,40101990
45	9	712,18609464	761,82472862	512,36325418	783,60847210	0,40101956
50	10	712,18549454	761,82408669	512,36282246	783,60781182	0,40101922
55	11	712,18489443	761,82344475	512,36239072	783,60715153	0,40101888
60	12	712,18429422	761,82280271	512,36195892	783,60649112	0,40101855
65	13	712,18369311	761,82215969	512,36152646	783,60582972	0,40101821
70	14	712,18308438	761,82150854	512,36108853	783,60515995	0,40101787
75	15					
80	16					
85	17					
90	18					
95	19					
100	20					

x	i	l=7 (t= 54,6875 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3					
20	4					
25	5					
30	6					
35	7	618,22840121	661,31828116	444,76790245	680,22812650	0,34811362
40	8	618,22788028	661,31772392	444,76752768	680,22755333	0,34811333
45	9	618,22735935	661,31716668	444,76715291	680,22698016	0,34811304
50	10	618,22683842	661,31660944	444,76677814	680,22640698	0,34811274
55	11	618,22631744	661,31605215	444,76640334	680,22583376	0,34811245
60	12	618,22579604	661,31549442	444,76602824	680,22526008	0,34811216
65	13	618,22527109	661,31493287	444,76565057	680,22468248	0,34811186
70	14					
75	15					
80	16					
85	17					
90	18					
95	19					
100	20					

x	i	l=8 (t= 62,5 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3					
20	4					
25	5					
30	6					
35	7					
40	8	536,66505535	574,07005448	386,08933288	590,48510946	0,30218673
45	9	536,66460314	574,06957075	386,08900755	590,48461191	0,30218647
50	10	536,66415092	574,06908701	386,08868221	590,48411433	0,30218622
55	11	536,66369851	574,06860307	386,08835673	590,48361655	0,30218596
60	12	536,66324443	574,06811734	386,08803006	590,48311693	0,30218571
65	13					
70	14					
75	15					
80	16					
85	17					
90	18					
95	19					
100	20					

x	i	l=9 (t= 70,3125 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3					
20	4					
25	5					
30	6					
35	7					
40	8					
45	9	465,86242409	498,33255307	335,15227186	512,58195730	0,26231900
50	10	465,86203146	498,33213307	335,15198939	512,58152529	0,26231878
55	11	465,86163804	498,33171224	335,15170636	512,58109242	0,26231856
60	12					
65	13					
70	14					
75	15					
80	16					
85	17					
90	18					
95	19					
100	20					

x	i	l=10 (t= 78,125 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
5	1					
10	2					
15	3					
20	4					
25	5					
30	6					
35	7					
40	8					
45	9					
50	10	404,40083771	432,58715771	290,93537597	444,95662712	0,22771105
55	11					
60	12					
65	13					
70	14					
75	15					
80	16					
85	17					
90	18					
95	19					
100	20					

Lampiran 4. Perhitungan Konsentrasi terhadap Jarak ($\Delta x=2 \text{ m}$) dengan Metode Kontrol Volume

$$[A]\{c\} = \{W\}$$

330634,1271	-83926,9468	0	0	0	0	.	0	0	c1	403,5399425
-330632,97	414561,0739	-83926,9468	0	0	0	.	0	0	c2	0
0	-330632,97	414561,0739	-83926,947	0	0	.	0	0	c3	0
0	0	-330632,97	414561,074	-83926,9468	0	.	0	0	c4	0
0	0	0	-330632,97	414561,0739	-83926,9468	.	0	0	c5	0
0	0	0	0	-330632,97	414561,0739	.	0	0	c6	0
0	0	0	0	0	-330632,97	.	0	0	c7	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c8	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c9	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c10	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c11	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c12	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c13	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c14	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c15	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c16	0
0	0	0	0	0	0	.	0	0	c17	0
0	0	0	0	0	0	.	-83926,9468	0	c18	0
0	0	0	0	0	0	.	414561,0739	-83926,9468	c19	0
0	0	0	0	0	0	.	-330632,97	330634,1271	c20	0

$$\{c\} = [A^{-1}]\{W\}$$

c	x	c (mg-N/L)	c total (mg-N/L)
0	0		0,871427709
1	2	0,001635701	0,871427701
2	4	0,001635694	0,871427694
3	6	0,001635686	0,871427686
4	8	0,001635678	0,871427678
5	10	0,001635671	0,871427671
6	12	0,001635663	0,871427663
7	14	0,001635655	0,871427655
8	16	0,001635648	0,871427648
9	18	0,00163564	0,87142764
10	20	0,001635632	0,871427632
11	22	0,001635625	0,871427625
12	24	0,001635617	0,871427617
13	26	0,001635609	0,871427609
14	28	0,001635602	0,871427602
15	30	0,001635594	0,871427594
16	32	0,001635586	0,871427586
17	34	0,001635579	0,871427579
18	36	0,001635571	0,871427571
19	38	0,001635564	0,871427564
20	40	0,001635558	0,871427558

Lampiran 5. Perhitungan Runge Kutta untuk $\Delta t = 3,125$ detik

x	i	l=1 (t= 3,125 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1	8396,97486989	9860,23189564	8805,80398197	11465,97406154	0,52664676
4	2	8396,97479600	9860,23180887	8805,80390447	11465,97396064	0,52664676
6	3	8396,97472210	9860,23172210	8805,80382698	11465,97385974	0,52664675
8	4	8396,97464821	9860,23163533	8805,80374949	11465,97375883	0,52664675
10	5	8396,97457431	9860,23154856	8805,80367200	11465,97365793	0,52664674
12	6	8396,97450042	9860,23146179	8805,80359451	11465,97355703	0,52664674
14	7	8396,97442653	9860,23137502	8805,80351702	11465,97345613	0,52664673
16	8	8396,97435263	9860,23128825	8805,80343952	11465,97335523	0,52664673
18	9	8396,97427874	9860,23120148	8805,80336203	11465,97325433	0,52664672
20	10	8396,97420485	9860,23111471	8805,80328454	11465,97315343	0,52664672
22	11	8396,97413096	9860,23102794	8805,80320706	11465,97305253	0,52664671
24	12	8396,97405706	9860,23094117	8805,80312957	11465,97295164	0,52664671
26	13	8396,97398317	9860,23085440	8805,80305207	11465,97285073	0,52664671
28	14	8396,97390927	9860,23076762	8805,80297457	11465,97274982	0,52664670
30	15	8396,97383534	9860,23068081	8805,80289704	11465,97264887	0,52664670
32	16	8396,97376128	9860,23059385	8805,80281938	11465,97254775	0,52664669
34	17	8396,97368675	9860,23050633	8805,80274122	11465,97244598	0,52664669
36	18	8396,97361033	9860,23041659	8805,80266108	11465,97234163	0,52664668
38	19	8396,97352647	9860,23031812	8805,80257314	11465,97222712	0,52664668
40	20					

x	i	l=2 (t= 6,25 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2	5074,70621986	5959,02463750	5321,78182388	6929,45385552	0,31827862
6	3	5074,70617520	5959,02458505	5321,78177705	6929,45379454	0,31827862
8	4	5074,70613055	5959,02453262	5321,78173022	6929,45373356	0,31827862
10	5	5074,70608589	5959,02448018	5321,78168339	6929,45367258	0,31827861
12	6	5074,70604123	5959,02442774	5321,78163655	6929,45361160	0,31827861
14	7	5074,70599658	5959,02437530	5321,78158972	6929,45355063	0,31827861
16	8	5074,70595192	5959,02432286	5321,78154289	6929,45348965	0,31827861
18	9	5074,70590726	5959,02427042	5321,78149606	6929,45342867	0,31827860
20	10	5074,70586261	5959,02421798	5321,78144923	6929,45336769	0,31827860
22	11	5074,70581795	5959,02416554	5321,78140240	6929,45330671	0,31827860
24	12	5074,70577329	5959,02411310	5321,78135557	6929,45324574	0,31827859
26	13	5074,70572863	5959,02406066	5321,78130873	6929,45318475	0,31827859
28	14	5074,70568396	5959,02400820	5321,78126188	6929,45312375	0,31827859
30	15	5074,70563923	5959,02395568	5321,78121498	6929,45306267	0,31827859
32	16	5074,70559427	5959,02390289	5321,78116783	6929,45300129	0,31827858
34	17	5074,70554844	5959,02384907	5321,78111977	6929,45293871	0,31827858
36	18	5074,70549916	5959,02379120	5321,78106809	6929,45287141	0,31827858
38	19					
40	20					

x	i	l=3 (t= 9,375 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3	3066,89535421	3601,33260618	3216,21533241	4187,81086352	0,19235148
8	4	3066,89532723	3601,33257449	3216,21530411	4187,81082667	0,19235147
10	5	3066,89530024	3601,33254280	3216,21527581	4187,81078982	0,19235147
12	6	3066,89527325	3601,33251111	3216,21524750	4187,81075297	0,19235147
14	7	3066,89524626	3601,33247942	3216,21521920	4187,81071612	0,19235147
16	8	3066,89521927	3601,33244772	3216,21519090	4187,81067926	0,19235147
18	9	3066,89519228	3601,33241603	3216,21516260	4187,81064241	0,19235147
20	10	3066,89516530	3601,33238434	3216,21513430	4187,81060556	0,19235146
22	11	3066,89513831	3601,33235265	3216,21510599	4187,81056871	0,19235146
24	12	3066,89511132	3601,33232096	3216,21507769	4187,81053185	0,19235146
26	13	3066,89508432	3601,33228926	3216,21504938	4187,81049499	0,19235146
28	14	3066,89505730	3601,33225753	3216,21502104	4187,81045809	0,19235146
30	15	3066,89503017	3601,33222567	3216,21499259	4187,81042105	0,19235145
32	16	3066,89500264	3601,33219334	3216,21496372	4187,81038346	0,19235145
34	17	3066,89497351	3601,33215913	3216,21493317	4187,81034367	0,19235145
36	18					
38	19					
40	20					

x	i	l=4 (t= 12,5 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3					
8	4	1853,47618290	2176,46298335	1943,71761315	2530,90073104	0,11624749
10	5	1853,47616658	2176,46296419	1943,71759605	2530,90070877	0,11624749
12	6	1853,47615027	2176,46294504	1943,71757895	2530,90068650	0,11624749
14	7	1853,47613396	2176,46292589	1943,71756184	2530,90066423	0,11624748
16	8	1853,47611765	2176,46290674	1943,71754474	2530,90064196	0,11624748
18	9	1853,47610134	2176,46288758	1943,71752763	2530,90061969	0,11624748
20	10	1853,47608503	2176,46286843	1943,71751053	2530,90059742	0,11624748
22	11	1853,47606872	2176,46284928	1943,71749342	2530,90057514	0,11624748
24	12	1853,47605241	2176,46283012	1943,71747631	2530,90055287	0,11624748
26	13	1853,47603608	2176,46281095	1943,71745919	2530,90053057	0,11624748
28	14	1853,47601971	2176,46279172	1943,71744202	2530,90050821	0,11624748
30	15	1853,47600315	2176,46277227	1943,71742465	2530,90048560	0,11624748
32	16	1853,47598584	2176,46275195	1943,71740650	2530,90046197	0,11624747
34	17					
36	18					
38	19					
40	20					

x	i	l=5 (t= 15,625 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3					
8	4					
10	5	1120,14710767	1315,34396732	1174,68445648	1529,54818619	0,07025409
12	6	1120,14709782	1315,34395575	1174,68444615	1529,54817273	0,07025409
14	7	1120,14708796	1315,34394418	1174,68443581	1529,54815927	0,07025409
16	8	1120,14707810	1315,34393260	1174,68442547	1529,54814581	0,07025409
18	9	1120,14706825	1315,34392103	1174,68441514	1529,54813235	0,07025409
20	10	1120,14705839	1315,34390945	1174,68440480	1529,54811889	0,07025409
22	11	1120,14704853	1315,34389787	1174,68439446	1529,54810543	0,07025409
24	12	1120,14703867	1315,34388629	1174,68438411	1529,54809196	0,07025409
26	13	1120,14702878	1315,34387468	1174,68437375	1529,54807846	0,07025409
28	14	1120,14701880	1315,34386297	1174,68436329	1529,54806484	0,07025409
30	15	1120,14700849	1315,34385085	1174,68435247	1529,54805075	0,07025409
32	16					
34	17					
36	18					
38	19					
40	20					

x	i	l=6 (t= 18,75 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3					
8	4					
10	5					
12	6	676,96016513	794,92725841	709,91977588	924,38143668	0,04245801
14	7	676,96015917	794,92725141	709,91976963	924,38142855	0,04245801
16	8	676,96015321	794,92724442	709,91976339	924,38142042	0,04245801
18	9	676,96014725	794,92723742	709,91975714	924,38141228	0,04245801
20	10	676,96014130	794,92723043	709,91975089	924,38140415	0,04245801
22	11	676,96013534	794,92722343	709,91974464	924,38139601	0,04245801
24	12	676,96012937	794,92721642	709,91973838	924,38138785	0,04245801
26	13	676,96012335	794,92720936	709,91973207	924,38137965	0,04245801
28	14	676,96011718	794,92720211	709,91972560	924,38137122	0,04245801
30	15					
32	16					
34	17					
36	18					
38	19					
40	20					

x	i	l=7 (t= 21,875 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3					
8	4					
10	5					
12	6					
14	7	409,12042894	480,41376390	429,03954794	558,64931109	0,0256594728
16	8	409,12042534	480,41375967	429,03954417	558,64930617	0,0256594726
18	9	409,12042174	480,41375544	429,03954039	558,64930125	0,0256594724
20	10	409,12041814	480,41375121	429,03953661	558,64929634	0,0256594722
22	11	409,12041453	480,41374698	429,03953283	558,64929141	0,0256594719
24	12	409,12041091	480,41374272	429,03952903	558,64928646	0,0256594717
26	13	409,12040721	480,41373838	429,03952515	558,64928141	0,0256594715
28	14					
30	15					
32	16					
34	17					
36	18					
38	19					
40	20					

x	i	l=8 (t= 25 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3					
8	4					
10	5					
12	6					
14	7					
16	8	247,25166117	290,33774110	259,28976760	337,61934240	0,0155072855
18	9	247,25165900	290,33773854	259,28976531	337,61933942	0,0155072853
20	10	247,25165682	290,33773598	259,28976303	337,61933645	0,0155072852
22	11	247,25165463	290,33773341	259,28976073	337,61933346	0,0155072851
24	12	247,25165241	290,33773080	259,28975840	337,61933043	0,0155072849
26	13					
28	14					
30	15					
32	16					
34	17					
36	18					
38	19					
40	20					

x	i	l=9 (t= 28,125 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3					
8	4					
10	5					
12	6					
14	7					
16	8					
18	9	149,42637822	175,46542218	156,70159989	204,04002672	0,00937181774
20	10	149,42637690	175,46542063	156,70159851	204,04002491	0,00937181766
22	11	149,42637556	175,46541906	156,70159710	204,04002309	0,00937181758
24	12					
26	13					
28	14					
30	15					
32	16					
34	17					
36	18					
38	19					
40	20					

x	i	l=10 (t= 31,25 detik)				
		k1	k2	k3	k4	c
0	0					
2	1					
4	2					
6	3					
8	4					
10	5					
12	6					
14	7					
16	8					
18	9					
20	10	90,30573303	106,04241206	94,70250844	123,31145545	0,00566385
22	11					
24	12					
26	13					
28	14					
30	15					
32	16					
34	17					
36	18					
38	19					
40	20					

Lampiran 6. Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 Terkait Nitrogen

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	IV	
Amonia	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka < 0,02 mg/L
Nitrat	mg/L	10	10	20	20	

- **Kelas I**
Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut
- **Kelas II**
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.
- **Kelas III**
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.
- **Kelas IV**
Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi ppertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.