



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENGOLAHAN LINDI DENGAN PROSES
AEROBIK-ANOKSIK MENGGUNAKAN *MOVING
BED BIOFILM REACTOR* UNTUK
MENURUNKAN KONSENTRASI ORGANIK DAN
NITROGEN**

RAVIKA HUDA
3313 100 091

Dosen Pembimbing
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENGOLAHAN LINDI DENGAN PROSES
AEROBIK-ANOKSIK MENGGUNAKAN *MOVING
BED BIOFILM REACTOR* UNTUK
MENURUNKAN KONSENTRASI ORGANIK DAN
NITROGEN**

RAVIKA HUDA
3313 100 091

DOSEN PEMBIMBING
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

AEROBIC-ANOXIC LEACHATE TREATMENT PROCESS USING MOVING BED BIOFILM REACTOR FOR ORGANIC AND NITROGEN REMOVAL

RAVIKA HUDA
3313 100 091

SUPERVISOR
Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOLAHAN LINDI DENGAN PROSES AEROBIK-ANOKSIK
MENGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM REACTOR* UNTUK
MENURUNKAN KONSENTRASI ORGANIK DAN NITROGEN

TUGAS AKHIR

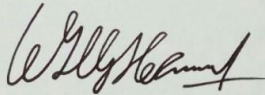
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RAVIKA HUDA

NRP. 3313 100 091

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Welly Herumurti, S.T., M.Sc.
NIP. 19811223 200604 1 001



PENGOLAHAN LINDI DENGAN PROSES AEROBIK-ANOKSIK MENGGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM REACTOR* UNTUK MENURUNKAN KONSENTRASI ORGANIK DAN NITROGEN

Nama Mahasiswa : Ravika Huda
NRP : 3313100091
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Lindi mengandung senyawa organik dan nitrogen yang tinggi. Salah satu pengolahan yang dianggap efektif untuk pengolahan lindi adalah *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). MBBR merupakan pengembangan dari proses *activated sludge* dan *fluidized bed reactor*. MBBR menggunakan media sebagai tempat melekatnya mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan MBBR untuk menurunkan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi, dengan variasi konsentrasi lindi dan durasi proses aerobik- anoksik.

Penelitian ini merupakan penelitian skala laboratorium. Sampel Lindi berasal dari TPA Ngipik Gresik dan biomassa berasal dari *return activated sludge* unit clarifier IPLT Keputih. Reaktor penelitian berjumlah tiga buah yang dioperasikan secara *batch* dengan konsentrasi COD lindi yang berbeda-beda. Saat proses aerobik aerator dan pompa *submersible* dinyalakan, sedangkan saat proses anoksik hanya pompa *submersible* yang dinyalakan. Kapasitas pengolahan MBBR yang digunakan adalah 5 L dan 1 L media Kaldness tipe 1 (K1). Tahap penelitian terdiri dari analisis karakteristik awal lindi dan lumpur, *seeding* dan aklimatisasi, dan penelitian utama. Pada penelitian ini digunakan dua variabel, yaitu konsentrasi COD lindi dan durasi proses aerobik-anoksik. Variasi konsentrasi COD lindi yang digunakan adalah 2000 mg/L, 3500 mg/L, dan 5000 mg/L. Sedangkan untuk variasi durasi proses aerobik-anoksik untuk satu siklus (dalam jam) adalah 9-36, 22,5-22,5, dan 36-9. Waktu yang dibutuhkan untuk setiap variasi durasi proses aerobik-anoksik adalah 12 hari yang terdiri dari enam siklus. Parameter yang dianalisis yaitu COD, amonium, nitrat, TKN, DO, BOD, MLSS, MLVSS, pH, dan salinitas. Analisis COD, amonium, nitrat, DO, dan ph dilakukan

setiap sebelum proses aerobik, setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik. Sedangkan untuk konsentrasi MLSS, MLVSS, BOD, TKN, dan salinitas dianalisis saat awal siklus (hari ke-0) dan akhir siklus ke-6 (hari ke-12).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa MBBR optimum dalam mengoksidasi zat organik dan nitrogen pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dengan efisiensi removal COD mencapai 78,78% pada durasi proses aerobik-anosik 36-9 jam dan removal total nitrogen, amonium, dan nitrat sebesar 35,24%, 61,04%, dan 28,79% pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam.

Kata Kunci : Aerobik-anoskik, Lindi, *Moving Bed Biofilm Reactor*, Nitrogen, Organik (COD)

AEROBIC-ANOXIC LEACHATE TREATMENT PROCESS USING MOVING BED BIOFILM REACTOR FOR ORGANIC AND NITROGEN REMOVAL

Student : Ravika Huda
NRP : 3313100091
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Leachate contains high concentrations of organic matter and nitrogen. One of treatment that considers effective for leachate treatment is Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). MBBR was developed on the basis of conventional activated sludge process and fluidized bed reactor. MBBR used specific media for microorganism attached. The aim of this research is to determine the ability of MBBR to decrease organic matter and nitrogen concentration in leachate using variation of organic concentration, and aerobic-anoxic duration process.

This lab-scale research used leachate sample from landfill Ngipik, Gresik and return activated sludge from clarifier unit in Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Keputih as the biomass. The research consists of three reactors that was operated in batch system and different COD concentration of leachate. Aerobic condition derived from aerator and submersible pump whereas anoxic condition derived from only submersible pump. Treatment capacity of MBBR was 5 L and media Kaldness type 1 (K1) 1 L. The research steps consist of leachate and sludge characterization, seeding and acclimatization, and main research. This research used the COD concentration of leachate and the duration of aerobic-anoxic process as variables. Variation of leachate COD concentration was 2000 mg/L, 3500 mg/L and 5000 mg/L, and variation of duration aerobic-anoxic process for one cycle (in hours) was 9-36, 22,5-22,5, and 36-9. The time needed in this research for each aerobic-anoxic duration was 12 days which consist of 6 cycle. The parameters are COD, ammonium, nitrate, TKN, DO, BOD, MLSS, MLVSS, pH, and salinity. COD, ammonium, nitrate, DO, pH analysis conduct in every single cycle, before the aerobic process, after aerobic

process, and after anoxic process. Meanwhile, the concentration of MLSS, MLVSS, BOD, TKN and salinity were analyzed at the beginning of cycle (day 0) and end of cycle 6 (day 12).

Result of this research show that MBBR can be used optimally for leachate treatment in 2000 mg/L COD concentration with removal efficiency of organic compound reached 78,78% (duration aerobic-anoxic 36-9 jam), and removal efficiency of total nitrogen, ammonium, and nitrate reached 35,24%, 61,04%, dan 28,79% (duration aerobic-anoxic 22,5-22,5 jam).

Keywords: Aerobic-anoxic, Leachate, Moving Bed Biofilm Reactor, Nitrogen, Organic (COD)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengolahan Lindi dengan Proses Aerobik-Anoksik Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* untuk Menurunkan Konsentrasi Organik dan Nitrogen”.

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App, Sc, Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T, Ibu Harmin Sulistyaningtitah, S.T., M.T., PhD selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Pengelola dan semua petugas di TPA Ngipik, Gresik dan IPLT Keputih yang sudah memberikan izin serta membantu saat mengambil sampel lindi dan lumpur.
4. Bapak Hadi Sutrisno, Bapak Edi, Bapak Azhari, Ibu lin, dan Ibu Mery selaku Laboran Jurusan Teknik Lingkungan yang telah membantu dan memfasilitasi ketika di Laboratorium.
5. Teman-teman angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Lindi	5
2.2 Karakteristik Lindi	5
2.3 Degradasi Zat Organik dan Nitrogen Pada Proses Aerobik dan Anoksik	9
2.4 <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR)	11
2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Moving Bed Biofilm</i> Reaktor (MBBR)	13
2.6 Proses yang terjadi di dalam <i>Moving Bed Biofilm</i> Reaktor (MBBR)	14
2.7 Kemampuan <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) dalam Meremoval COD dan Nitrogen (Ammonia dan Nitrat)	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	21

3.1	Gambaran Umum Penelitian	21
3.2	Kerangka Penelitian	21
3.3	Persiapan Alat dan Bahan	24
3.4	Analisis Karakteristik Awal	24
3.5	Pembuatan Reaktor	24
3.6	<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	26
3.7	Penelitian Utama	27
3.8	Metode Analisis Sampel.....	28
3.9	Metode Analisis Data	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Analisis Awal Karakteristik Lindi dan Lumpur	35
4.2	<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	36
4.3	Penelitian Utama	38
4.3.1	Hasil Penurunan Konsentrasi COD	38
4.3.2	Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrogen	41
4.3.3	Analisis <i>Biomass</i> sebagai MLSS	51
4.3.4	Analisis BOD dan BOD/COD.....	52
4.3.5	Analisis F/M	55
4.3.6	Analisis C/N	56
4.3.7	Analisis Dissolved Oxygen	58
4.3.8	Analisis pH.....	60
4.3.9	Analisis Salinitas	63
4.4	Penentuan Pengaruh Durasi Proses Aerobik-Anoksik Terhadap Parameter Organik dan Nitrogen.....	65
4.5	Ringkasan Kinerja MBBR.....	72
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran.....	75

DAFTAR PUSTAKA	xv
LAMPIRAN 1 PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI DAN PROSEDUR ANALISIS	xix
LAMPIRAN 2 DATA HASIL ANALISIS LABORATORIUM	xxxi
LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI PENELITIAN.....	xlv
BIOGRAFI PENULIS	xlix

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur TPA.....	6
Tabel 2. 2 Kualitas Lindi dari Beberapa TPA di Indonesia	7
Tabel 2. 3 Karakteristik Lindi TPA Ngipik Gresik	8
Tabel 2. 4 Baku Mutu Lindi.....	8
Tabel 2. 5 Tipikal Parameter Desain Proses MBBR	14
Tabel 2. 6 Tipikal Parameter Operasi MBBR	14
Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu tentang MBBR	19
Tabel 3. 1 Variasi Durasi Proses Aerobik-Anoksik.....	28
Tabel 3. 2 Variasi Konsentrasi COD	28
Tabel 3. 3 Jumlah Sampel yang Dianalisis	32
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lindi dan Lumpur ...	35
Tabel 4. 2 Konsentrasi COD pada Tahap Aklimatisasi	36
Tabel 4. 3 Removal Amonium-Nitrogen (%).....	43
Tabel 4. 4 Removal Nitrat-Nitrogen (%)	45
Tabel 4. 5 Mass Balance Nitrogen	47
Tabel 4. 6 Hasil Uji ANOVA dengan Program SPSS 16	65
Tabel 4. 7 Hasil Uji Tukey Durasi Proses Aerobik-Anoksik dengan Program SPSS 16	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Degradasi Senyawa Nitrogen.....	10
Gambar 2.2 Siklus Nitrogen pada Proses Aerobik-Anoksik.....	11
Gambar 2.3 (a) Kondisi Aerobik pada MBBR, (b) Kondisi Anoksik pada MBBR.....	13
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	23
Gambar 3.2 Media Kaldness Tipe 1 (K1)	25
Gambar 3.3 (a) Reaktor MBBR pada Tahap Aerobik, (b) Reaktor MBBR pada Tahap Anoksik.....	25
Gambar 3.4 Metode Analisis Sampel.....	31
Gambar 4.1 Removal COD pada Tahap Aklimatisasi.....	37
Gambar 4.2 <i>Settleability Solid Test</i> (a) Awal, (b) Akhir	38
Gambar 4.3 Efisiensi Removal Konsentrasi COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam.....	39
Gambar 4.4 Removal Konsentrasi COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam	40
Gambar 4.5 Removal Konsentrasi COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam	40
Gambar 4.6 Efisiensi Removal Konsentrasi TN pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik	46
Gambar 4.7 <i>Mass Balance</i> Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam.....	48
Gambar 4.8 <i>Mass Balance</i> Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam	49
Gambar 4.9 <i>Mass Balance</i> Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam.....	50
Gambar 4.10 Konsentrasi MLSS pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik	51
Gambar 4.11 Removal BOD pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik.....	53
Gambar 4.12 Rasio BOD/COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam.....	54
Gambar 4.13 Rasio BOD/COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam	54
Gambar 4.14 Rasio BOD/COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam.....	55
Gambar 4.15 Rasio F/M pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik.....	56

Gambar 4.16 Rasio C/N pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik.....	57
Gambar 4.17 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam.....	58
Gambar 4.18 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam.....	59
Gambar 4.19 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam.....	60
Gambar 4.20 Nilai pH pada MBBR pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam.....	62
Gambar 4.21 Nilai pH pada MBBR pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam.....	62
Gambar 4.22 Nilai pH pada MBBR pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam.....	63
Gambar 4.23 Nilai Salinitas pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik.....	64
Gambar 4.24 Skema Perbandingan Durasi Proses Aerobik-Anoksik.....	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan utama dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah adalah timbulan lindi yang dapat menyebabkan permasalahan lingkungan (Bohdziewicz *et al.*, 2008). Lindi adalah cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, dimana air tersebut dapat melarutkan materi terlarut dan materi organik hasil dekomposisi biologis. Hal ini menyebabkan lindi berpotensi mencemari badan air di sekelilingnya (Damanhuri dan Padmi, 2010). Saat ini sebagian besar TPA di Indonesia hanya fokus pada pengolahan sampah saja. Meskipun sudah ada beberapa TPA yang memiliki instalasi pengolahan lindi, tetapi efisiensinya masih rendah sehingga efluen yang dihasilkan masih melebihi baku mutu (Hadiwidodo *et al.*, 2012).

Salah satu TPA yang memiliki permasalahan dalam pengolahan lindi adalah TPA Ngipik, yang terletak di Kabupaten Gresik. Menurut BLH Kabupaten Gresik, TPA Ngipik dirancang dengan *sanitary landfill* kemudian berubah menjadi *controlled landfill*, akan tetapi pada kenyataannya pengoperasian TPA Ngipik adalah *open dumping* dan lindi yang dihasilkan hanya ditampung di kolam lindi tanpa ada pengolahan, sehingga efluen lindi masih berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan sistem pengolahan lindi untuk mengatasi masalah di TPA Ngipik. TPA Ngipik Gresik tergolong *mature landfill*, karena TPA ini sudah beroperasi dari tahun 2002. Karakteristik utama dari lindi yang berasal dari *mature landfill* adalah konsentrasi amonia yang tinggi dan mengandung senyawa organik dan amonium dengan konsentrasi tinggi, dan senyawa *biodegradable* yang rendah (Dahai Yu *et al.*, 2014). Selain itu lindi juga mengandung logam berat dan garam anorganik (Renou *et al.*, 2008). Sehingga pengolahan lindi secara biologis konvensional sulit dilakukan, terutama untuk nitrifikasi (Kulikowsaka *et al.*, 2009).

Pengolahan biologis dengan biofilm merupakan salah satu pengolahan lindi secara biologis yang memiliki beberapa

keunggulan, diantaranya waktu retensi hidrolik yang lebih rendah, waktu retensi biomassa yang lebih tinggi, lebih resisten terhadap senyawa beracun, sensitivitas rendah terhadap suhu, dan produksi lumpur lebih sedikit (Eldyasti *et al.*, 2010). Ada beberapa jenis pengolahan biologis dengan biofilm, seperti *trickling filters*, *rotating biological contactors* (RBC), *fluidized bed reactor*, *granular media biofilters*, dan lainnya. Tetapi, pengolahan biologis dengan biofilm juga memiliki kekurangan, diantaranya yaitu *trickling filters* tidak efektif dari segi volume reaktornya, sering terjadi kesalahan mekanis pada RBC, sedangkan *granular media biofilters* harus dioperasikan diskontinu karena membutuhkan backwashing, dan *fluidized bed reactor* tidak stabil untuk HLRnya.

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) adalah pengolahan biologis yang sangat efektif dan merupakan pengembangan dari proses *activated sludge* konvensional dan *fluidized bed reactor* (Chen *et al.*, 2008). Keunggulan MBBR dibandingkan proses *activated sludge* konvensional yaitu MBBR efektif untuk meremoval karbon dan nitrogen, memiliki *headloss* yang rendah. MBBR tidak membutuhkan resirkulasi lumpur, karena MBBR menggunakan media yang melayang sehingga memberikan permukaan yang luas untuk pertumbuhan biomassa. Selain itu MBBR dapat dioperasikan untuk proses aerobik, dan anoksik atau anaerobik (Rusten *et al.*, 2006). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa MBBR dengan sistem anaerobik-aerobik efektif untuk meremoval COD dan amonium pada lindi, dimana total removal untuk COD mencapai 95% dan removal amonium mencapai 97% (Chen *et al.*, 2008). Efisiensi removal nitrogen pada lindi dalam bentuk ammonia dan nitrat melalui proses aerobik-anoksik yaitu mencapai 80% (Miao *et al.*, 2014).

Pada *Moving Bed Biofilm Reactor* digunakan media sebagai tempat melekatnya mikroorganisme. Mikroorganisme tumbuh pada media yang memiliki densitas lebih rendah dari air dan tetap bergerak di dalam reaktor. Pergerakan media di dalam reaktor dapat disebabkan oleh aerasi pada proses aerobik dan oleh pengaduk mekanis pada proses anaerobik atau anoksik (Bokar *et al.*, 2013).

Konsentrasi dan durasi proses aerobik dan anoksik merupakan faktor yang berpengaruh pada pengolahan dengan MBBR. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai

pengolahan lindi menggunakan MBBR dengan variasi konsentrasi dan durasi proses aerobik-anoksik. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pengelola TPA sebagai alternatif untuk penggunaan teknologi pengolahan lindi melalui pengolahan biologis (*fluidized attached growth*) berupa *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana kemampuan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) untuk menurunkan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi?
2. Bagaimana pengaruh variasi durasi aerobik-anoksik pada pengolahan lindi dengan MBBR?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menentukan kemampuan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) untuk menurunkan konsentrasi organik dan konsentrasi nitrogen pada lindi.
2. Menentukan pengaruh variasi durasi proses aerobik-anoksik pada pengolahan lindi dengan MBBR.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memberikan alternatif untuk penggunaan teknologi pengolahan lindi melalui pengolahan biologis (*fluidized attached growth*) berupa *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR).
2. Memberikan informasi secara ilmiah mengenai *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) dengan sistem *batch* dalam menurunkan senyawa organik dan anorganik yang terdapat pada lindi.
3. Memberikan solusi terhadap permasalahan lindi di Indonesia.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah

1. Sampel yang digunakan yaitu lindi dari TPA Ngipik, Gresik.
2. Sumber mikroorganisme berasal dari *return activated sludge* (RAS) IPLT Keputih.
3. Reaktor dioperasikan dengan sistem *batch*.
4. Media yang digunakan yaitu Kaldness tipe 1 (K1).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Lindi

Lindi didefinisikan sebagai cairan yang timbul dari hasil dekomposisi biologis sampah yang terlarut akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah. Air tersebut dapat berasal dari hujan, saluran drainase, air tanah atau sumber lain (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Pada umumnya lindi memiliki kandungan COD yang tinggi, TDS, TOC, senyawa nitrogen dan berbagai jenis logam berat sehingga keberadaan lindi sangat berpotensi mencemari lingkungan terutama pencemaran air dan tanah (Notodarmojo, 2005).

2.2 Karakteristik Lindi

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas lindi antara lain :

- karakteristik dan komposisi sampah
- jenis tanah penutup
- iklim
- kondisi kelembaban dalam timbunan sampah
- umur timbunan (Damanhuri dan Padmi, 2010).

Berdasarkan komponen sampah yang ditimbun, maka kemungkinan terlepasnya komponen-komponen pencemar dari TPA adalah sebagai berikut :

- a. Komponen sisa makanan (organik), kayu dan kertas:
 - Dapat terbilas dalam lindi: CO₂, asam organik, fenol, N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃, SO₄, fosfat, karbonat dsb
 - Sebagai protoplasma mikrobial: C, NH₄, P dan K
 - Muncul ke atmosfer sebagai: CO₂, CH₄, volatil berantai pendek dari asam lemak, NH₃, H₂S, merkaptan, dsb
- b. Komponen plastik dan karet:
 - Plastik tidak terdegradasi
 - Karet sintesis praktis tidak terdegradasi
 - Karet alamiah terdegradasi secara lambat
- c. Kain dan tekstil:
 - Materi-materi sintesis : sulit terdegradasi
 - Sebagai biomassa: NH₄, S, C, P dan K

Terlarut dalam lindi: CO₂, asam-asam organik, fosfat, N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃

- Muncul sebagai gas: CO₂, CH₄, asam-asam volatil, NH₃, H₂S, merkaptan dsb

d. Komponen logam:

- Berbentuk oksida logam, termasuk logam berat, seperti: Al₂O₃, Al(OH)₃, CrO₂, Cr₂O₃, HgO, dsb

- Dapat terlarut dalam lindi : senyawa sulfat dari Ca, Mg, senyawa bikarbonat dari Fe, Ca, Mg serta senyawa oksida dari Sn, Zn, Cu dan seterusnya

Selain karakteristik komponen sampah yang ditimbun, usia TPA sangat mempengaruhi kualitas lindi yang dihasilkan. Karakteristik lindi menurut umur TPA dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Tabel Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur TPA

Usia TPA	Baru/ Kurang dari 2 Tahun	Tipikal	Lama/ Lebih dari 10 Tahun
Parameter	Kisaran		Kisaran
1	2	3	4
COD	3.000 – 60.000	18.000	100 – 500
BODs	2.000 – 30.000	10.000	100 – 200
TOC	1.500 – 20.000	6.000	80 – 160
TSS	200 – 2.000	500	100 – 400
Total Nitrogen	20 – 1.500	400	100 – 200
Total Phosphor	5 – 100	30	5 – 10
Alkali	a.0 – 10.000	3.000	200 – 1.000
Besi	50 – 1.200	60	20 – 200
pH	5 – 8	6	6,6 – 7,5

Sumber: Tchobanoglous *et al.*, 1993

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat disimpulkan bahwa lindi yang berasal dari TPA baru (kurang dari 2 tahun) relatif bersifat asam dan kandungan organik yang tinggi. Sedangkan lindi yang berasal dari TPA tua (lebih dari 10 tahun) cenderung memiliki pH mendekati netral dan kandungan organik yang relatif menurun.

Selain itu kondisi sebelum pengambilan sampling juga mempengaruhi karakteristik lindi. Jika pengambilan sampel lindi saat fase dekomposisi asam, maka akan didapat nilai pH yang rendah, sedangkan konsentrasi BOD₅, TOC, COD, nutrient, dan

logam berat akan tinggi. Sebaliknya jika pengambilan sampel lindi dilakukan saat fase fermentasi metana, maka pH akan berada pada kisaran 6.5 – 7.5 dan konsentrasi BOD₅, TOC, COD, dan nutrient akan lebih rendah. Pada fase fermentasi metana konsentrasi logam berat juga akan lebih rendah karena sebagian besar logam berat akan larut pada pH netral (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Berdasarkan beberapa rekapitulasi hasil dari pemantauan kualitas lindi di beberapa TPA di Indonesia diketahui bahwa kekhasan lindi di Indonesia adalah cenderung bersifat tidak asam dan mempunyai nilai COD yang tinggi. Kualitas lindi dari beberapa TPA di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kualitas Lindi dari Beberapa TPA di Indonesia

Kota/TPA	pH	COD	NH ₄ -N	N-NO ₂	DHL
Bogor	7,5	28723	770	0	40480
	8	4303	649	0,075	24085
Cirebon	7	3648	395	0,225	10293
	7	13575	203	0,375	12480
Jakarta	7,5	6839	799	0	13680
	7	413	240	0,075	3823
	8	1109	621	0,35	1073
Bandung (Leuwigajah)	6	58661	1356	6,1	26918
	7	7379	738	2,775	20070
Yogyakarta	6	6166	162	0.225	3540
Surabaya	8,03	24770	155	0,077	6030

Sumber : Damanhuri, 2008

Pada penelitian ini digunakan lindi yang berasal dari TPA Ngipik, Gresik. Berdasarkan penelitian terdahulu karakteristik lindi yang berasal dari TPA Ngipik dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik Lindi TPA Ngipik Gresik

Parameter	Nilai	Satuan
COD	5087.6	mg/L
NH ₃ -N	71.24	mg/L
NO ₃ -N	106.79	mg/L
NO ₂ -N	19.83	mg/L
TKN	137.5	mg/L
pH	8.2	-
Alkalinitas	1169.28	mg/L
Salinitas	1.24	ppt

Sumber : Jusepa, 2016

Berdasarkan Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 terlihat bahwa kualitas lindi di TPA Indonesia masih melebihi baku mutu. Ambang batas kualitas lindi yang boleh di buang ke perairan diatur di dalam peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Baku Mutu Lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0.005	mg/L
Kadmium	0.1	mg/L

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016

2.3 Degradasi Zat Organik dan Nitrogen Pada Proses Aerobik dan Anoksik

Pada proses oksidasi aerobik, konversi dari senyawa organik ditunjukkan pada reaksi seperti berikut:

Oksidasi dan sintesis:

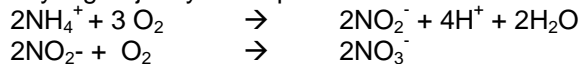
$\text{CHONS} + \text{O}_2 + \text{Nutrien} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{Produk akhir lain}$

Respirasi *Endogenous*:

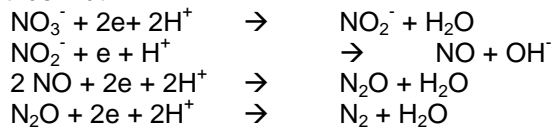
$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 5 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 + \text{energi}$

CHON digunakan untuk merepresentasikan senyawa organik di dalam air limbah, yang menjadi donor elektron ketika oksigen menjadi aseptor elektron. Pada respirasi *endogenous* dihasilkan energi dan produk akhir yang relatif sederhana dan stabil.

Degradasi senyawa nitrogen dimulai dari perubahan nitrogen organik seperti protein yang didekomposisi oleh bakteri menjadi amonium-nitrogen. Kemudian dari amonium-nitrogen diubah menjadi nitrit dan nitrat dengan oksidasi melalui proses nitrifikasi. Kemudian nitrat diubah menjadi nitrogen bebas melalui proses denitrifikasi. Nitrifikasi memanfaatkan bakteri *Nitrosococcus* atau *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* pada kondisi aerobik, reaksi yang terjadi yaitu seperti berikut:

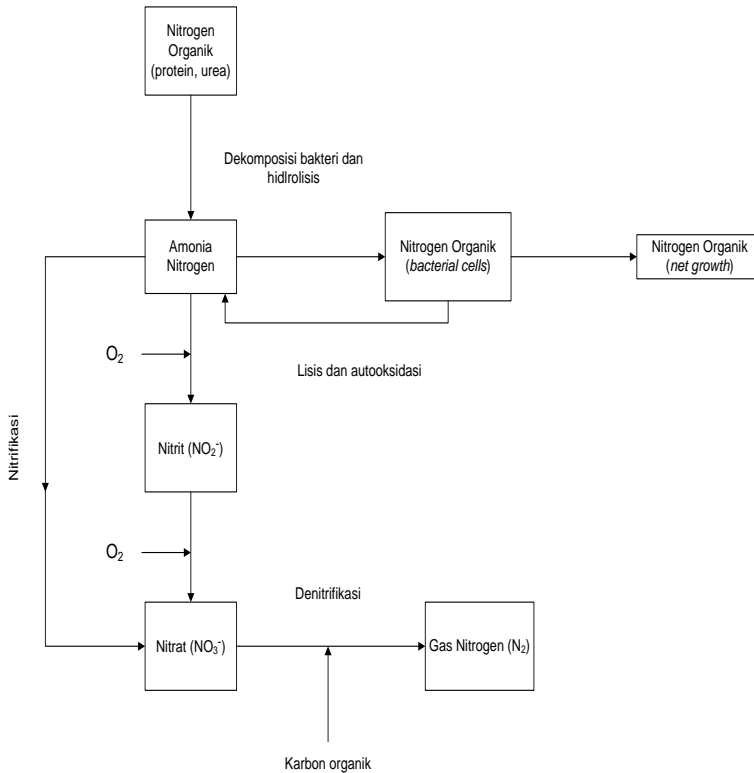


Sedangkan denitrifikasi terjadi dengan memanfaatkan bakteri *Pseudomonas denitrificant* pada kondisi anoksik, dengan reaksi seperti berikut:



(Metcalf and Eddy, 2003)

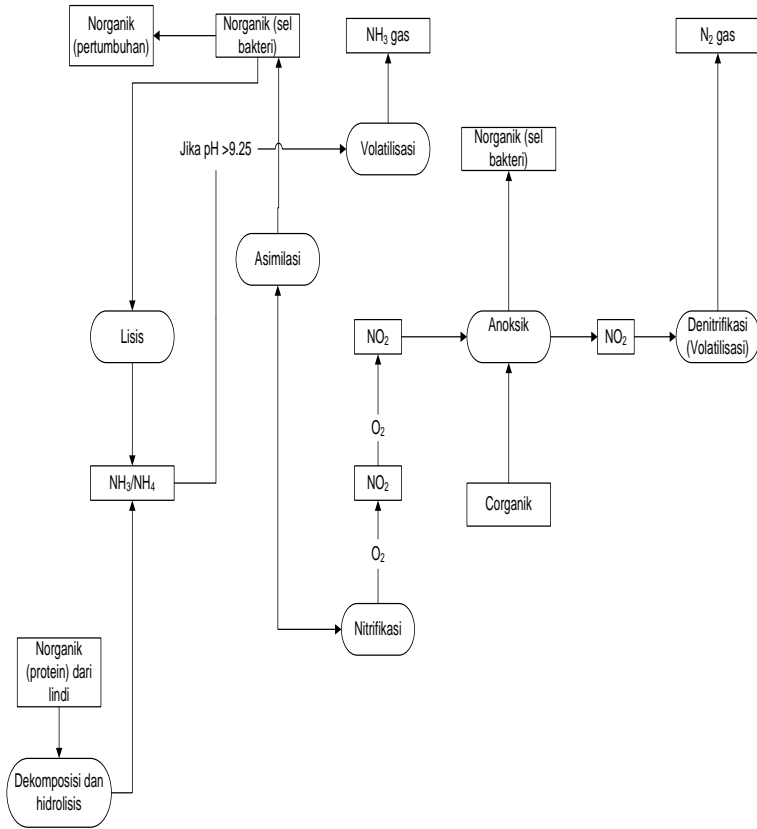
Diagram alir degradasi senyawa nitrogen dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Degradasi Senyawa Nitrogen
 Sumber : Metcalf and Eddy, 2003

Penyisihan nitrogen dapat terjadi melalui proses nitrifikasi, dan denitrifikasi. Pada proses aerobik penyisihan nitrogen diakibatkan oleh pengambilan senyawa nitrogen untuk proses pembentukan sel mikroorganisme dan nitrifikasi, dan pada proses anoksik penyisihan nitrogen juga diakibatkan oleh penggunaan nitrat-nitrogen sebagai akseptor elektron untuk proses pembentukan sel mikroorganisme dan denitrifikasi. Siklus

nitrogen pada proses aerobik, anoksik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Siklus Nitrogen pada Proses Aerobik-Anoksik
 Sumber : Aljumriana, 2015

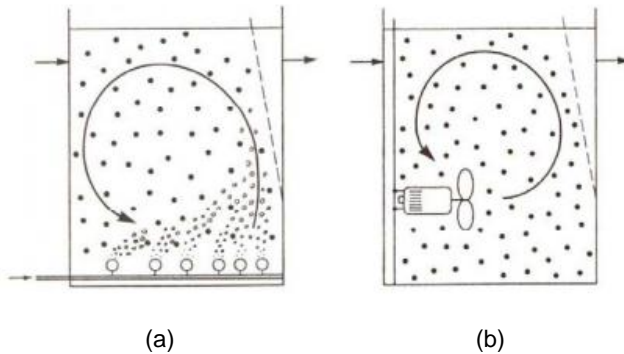
2.4 *Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)*

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan salah satu sistem pengolahan biologis yang menggunakan media plastik untuk menyediakan tempat hidup koloni mikroorganisme yang

tumbuh menjadi biofilm. Reaktor ini dioperasikan pada kondisi aerobik untuk menurunkan kadar organik dan nitrifikasi, sedangkan pada kondisi anoksik untuk denitrifikasi. Selama beroperasi, media dijaga dalam sirkulasi yang tetap. Pada kondisi aerobik, sirkulasi diciptakan dengan menginjeksikan gelembung udara ke dalam reaktor melalui sistem difusi gelembung dan pada kondisi anoksik biasanya diciptakan dengan menggunakan pengaduk yang terendam di dalam reaktor. Pengisian media dapat mencapai 70% dari volume total reaktor. Namun, dari hasil penelitian yang pernah ada menunjukkan bahwa efisiensi pengadukan akan menurun jika persentase pengisian jumlah media dinaikkan.

Keutamaan MBBR adalah proses *fluidized attached growth* (mikroorganisme melekat pada media), sehingga kapasitas pengolahan adalah sebuah fungsi dari luas permukaan spesifik reaktor. Luas permukaan spesifik reaktor dihitung dengan membagi luas permukaan media yang ditumbuhi biofilm dan volume reaktor. Setiap media memiliki karakteristik luas permukaan spesifik yang berbeda-beda. Luas permukaan spesifik media merefleksikan jumlah luas permukaan yang tersedia untuk pertumbuhan biofilm per-unit volume media (Metcalf and Eddy, 2003).

Ide pengembangan proses *Moving Bed Biofilm* adalah untuk mengadopsi proses yang terbaik dari proses *activated sludge* dan proses biofilter. Tidak seperti kebanyakan reaktor biofilm lainnya, MBBR menggunakan seluruh volume reaktor untuk pertumbuhan biomassa dan tidak memerlukan *recycle* lumpur. Hal ini dapat dilakukan dengan menumbuhkan biomassa pada media yang bergerak bebas dalam reaktor, dimana reaktor dilengkapi dengan sekat berlubang untuk mencegah media keluar melalui outlet. Akibat tidak adanya tempat untuk resirkulasi lumpur, hanya biomassa berlebih yang harus dipisahkan sehingga lebih menguntungkan dibandingkan dengan *activated sludge* dan biofilter (Igarashi *et al.*, 1999). MBBR ini dapat digunakan untuk kondisi aerobik dan anoksik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 (a) Kondisi Aerobik pada MBBR, (b) Kondisi Anoksik pada MBBR

Sumber: Igarashi *et al.*, 1999

Pada proses aerobik, pergerakan media biofilm disebabkan pengadukan oleh udara, sedangkan pada proses anoksik digunakan pengaduk untuk menggerakkan media. Pada reaktor aerobik digunakan sistem aerasi dengan *coarse bubble*. Media dijaga di dalam reaktor aerobik dengan menggunakan sekat berlubang pada *outlet*-nya. Biasanya MBBR didesain secara vertikal, sekat berlubang dengan bentuk segi empat, tetapi terkadang berupa batang silinder, baik horizontal maupun vertikal.

2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Moving Bed Biofilm Reaktor (MBBR)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) diantaranya adalah waktu detensi anoksik, waktu detensi aerobik, luas permukaan biofilm, beban BOD, dan konsentrasi MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*) (Metcalf and Eddy, 2003). MBBR dianggap beroperasi dengan baik jika faktor-faktor yang disebutkan di atas memiliki nilai yang termasuk di dalam rentang tipikalnya. Pada penelitian ini konsentrasi organik yang digunakan dalam bentuk COD. Hal ini dikarenakan proses aerobik-anoksik yang terjadi di dalam MBBR difokuskan untuk mengurangi konsentrasi COD. Akan tetapi,

untuk memastikan bahwa MBBR dapat beroperasi dengan baik maka parameter BOD tetap diperhatikan. Selain itu, parameter BOD juga digunakan untuk menganalisis tingkat biodegradasi lindi. Nilai tipikal parameter desain proses MBBR dan tipikal parameter operasi MBBR dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2. 5 Tipikal Parameter Desain Proses MBBR

Parameter	Satuan	Rentang Nilai
Waktu detensi anoksik	Jam	1-1,2
Waktu detensi aerobik	Jam	3,5-4,5
Luas permukaan biofilm	m ² /m ³	200-250
Beban BOD	kg/m ³ .hari	1-1,4

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

Tabel 2. 6 Tipikal Parameter Operasi MBBR

Parameter	Satuan	Rentang Nilai
Luas permukaan biofilm	m ² /m ³	300-350
Beban BOD	kg/m ³ .hari	4-7
Konsentrasi MLSS	mg/L	3500-4500

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

2.6 Proses yang terjadi di dalam *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dioperasikan dengan sistem *batch* sehingga tahapan yang terjadi di dalam reaktor meliputi tahap pengisian, tahap aerasi dan tahap pengendapan yang terjadi dalam reaktor yang sama. Tidak ada lumpur yang hilang di dalam tahap pemberian reaksi (*react*) dan tidak ada sirkulasi. Reaktor dengan sistem *batch* ini memiliki lima tahap umum, dengan urutan seperti berikut:

1. *Fill* (Pengisian)

Selama pengisian, volume dan organik (air baku air limbah atau efluen dari *primary*) ditambahkan ke dalam reaktor. Tipikal proses pengisian mengikuti level air dalam reaktor untuk mencapai 75% dari kapasitas (pada akhir tahap didiamkan) hingga mencapai 100% dari kapasitas.

2. *React* (Pemberian reaksi)

Selama tahap pemberian reaksi, biomassa mengkonsumsi organik dengan kendali kondisi lingkungan.

3. *Settle* (Pengendapan)

Padatan dibiarkan untuk berpisah dari zat cairnya dengan kondisi yang tenang (diam), hasilnya dalam supernatan yang jernih dapat dikeluarkan sebagai efluen.

4. *Decant* (Penuangan)

Efluen yang jernih di hilangkan selama tahap penuangan. Banyak jenis dari mekanisme penuangan yang dapat digunakan, dengan mekanisme yang paling terkenal yaitu melalui *floating* (mengapung) atau disesuaikan dengan limpahannya (*weir*).

5. *Idle* (Didiamkan)

Pada tahap didiamkan, digunakan dalam sistem *multitank* untuk menyediakan waktu untuk satu reaktor menyelesaikan fase pengisiannya sebelum ditukar dengan unit yang lain. Biasanya tahap ini tidak digunakan karena pada tahap ini tidak ada fase peningkatan apapun (Metcalf and Eddy, 2003).

2.7 Kemampuan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dalam Meremoval COD dan Nitrogen (Ammonia dan Nitrat)

Moving Bed Biofil Reactor (MBBR) dengan proses aerobik-anaerobik dimanfaatkan dalam pengolahan lindi untuk menurunkan konsentrasi COD dan amonium. Proses anaerobik merupakan proses utama yang dibutuhkan untuk meremoval COD dan proses aerobik pada MBBR berfungsi sebagai salah satu langkah untuk meremoval amonium. Proses anaerobik di dalam MBBR mampu meremoval total COD dengan efisiensi hingga 91% dengan *Organik Loading Rate* (OLR) 4,08 kgCOD/m³hari, dan secara bertahap menurun menjadi 86% ketika OLR meningkat menjadi 15,7 kgCOD/m³hari. Akibat fungsi yang saling melengkapi dari reaktor aerobik, maka efisiensi total

COD pada sistem sedikit menurun dari 94% menjadi 92%, bahkan meskipun OLR nya meningkat dari 4,08 menjadi 15,7 kgCOD/m³hari. *Hydraulic Retention Time* (HRT) memiliki efek signifikan pada removal amonium, dimana efisiensi removal amonium dapat mencapai 97% ketika HRT proses aerobik di dalam MBBR lebih dari 1,25 hari. Proses aerobik-anaerobik memiliki toleransi yang sangat baik untuk kondisi *shocking loading*. Penurunan efisiensi removal COD hanya sekitar 7% ketika OLR nya meningkat dan durasi *shock* selama 24 jam, dan efisiensi sistem ini dapat kembali seperti semula dalam waktu 3 hari. Rata-rata *sludge yield* pada proses anaerobik diestimasikan menjadi 0,0538 gVSS/gCODrem (Chen et al., 2008).

Salah satu modifikasi SBR (*Sequence Batch Reaktor*) yaitu dengan mengaplikasikan sistem *fluidize* pada proses aerobik-anoksik sehingga menyerupai proses yang ada pada MBBR. Tahapan yang ada pada reaktor ini yaitu: *filling* (pengisian)-*react* (pemberian reaksi terdiri dari proses aerobik-anoksik)-*settle* (pengendapan)-*decant* (penuangan). Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah lindi. Proses aerobik terjadi dengan menggunakan aerator sedangkan proses anoksik terjadi dengan memanfaatkan pengadukan dari pengaduk mekanis. Sistem aerobik-anoksik terbukti lebih efektif dalam meremoval ammonia dan nitrat. Reaktor dengan sistem ini memiliki dua keuntungan yaitu tidak menghasilkan konsentrasi nitrat yang tinggi dan alkalinitas yang diproduksi mampu menetralsir asam pada influen, dengan memproduksi pH yg cocok. Selain itu, dengan proses aerobik-anoksik mampu mencapai efisiensi removal ammonia dan nitrat lebih dari 80% (Miao et al., 2014).

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan proses anaerobik-anoksik-aerobik dapat digunakan untuk meremoval konsentrasi organik dan nutrien pada limbah domestik. Pada penelitian ini terdapat empat reaktor yang dioperasikan secara kontinu, yaitu reaktor anaerobik, reaktor anoksik 1, reaktor anoksik 2, dan reaktor aerobik. Reaktor anaerobik menerima resirkulasi anoksik dari reaktor anoksik pertama, sedangkan reaktor anoksik 2 menerima resirkulasi nitrat dari reaktor aerobik. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh efisiensi penurunan COD paling tinggi yaitu pada reaktor aerobik, lalu anoksik kedua, anoksik pertama, dan yang paling rendah anaerobik. Efisiensi

COD pada kondisi optimum (500 mgCOD/L, 62.5 mg NH⁴-N/L, dan 12.5 mg PO⁴-P/L) yaitu 96.87%. Jumlah reaktor yang digunakan yaitu satu reaktor untuk proses anaerobik, dua reaktor untuk proses anoksik dan satu reaktor pada proses aerobik. Efisiensi removal amonium mencapai 99.72% (Kermani *et al.*, 2008).

Pada penelitian MBBR menggunakan media *suspended ceramic* dengan densitas seperti densitas air dan memiliki porositas yang tinggi. Sampel yang digunakan adalah air limbah yang mengandung minyak. HRT yang digunakan yaitu 10 hingga 36 jam. Hasil setelah pengamatan selama 190 hari menunjukkan efisiensi removal COD mencapai 73% dan efisiensi removal nitrat mencapai 85% (Dong *et al.*, 2011).

Pengolahan air limbah hasil gasifikasi batu bara menggunakan MBBR dengan proses anoksik-*Biological Aerated Filter* (BAF) menunjukkan bahwa sistem ini mempunyai kapasitas degradasi polutan yang efisien, khususnya pada removal nitrogen. Anoksik MBBR-BAF ini memiliki kemampuan removal amonium yang baik, khususnya dengan konsentrasi beban toksik yang tinggi. Pengolahan ini memiliki efisiensi removal COD sebesar 75% dan efisiensi removal amonium mencapai 85% (Zhuang *et al.*, 2014).

Air limbah yang mengandung formaldehid akan bersifat toksik pada mikroorganisme maka untuk mengolah limbah tersebut dapat dilakukan dengan pengolahan kimiawi maupun proses biologis (anaerobik). Pada penelitian ini digunakan proses biologis berupa MBBR. Selama pengamatan ini, efisiensi MBBR yang diperoleh tergolong cukup tinggi. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi removal yang paling baik dicapai ketika konsentrasi formaldehid dalam bentuk COD sebesar 200 mg/L yaitu 93%. Sistem ini juga dapat mengolah konsentrasi formaldehid yang lebih tinggi hingga 2500 mg/L (Qaderi *et al.*, 2011).

Nitrifikasi pada air limbah yang mengandung garam diolah menggunakan MBBR. HRT yang dibutuhkan yaitu selama 48 jam dengan *start up* selama 15 hari. Reaktor ini menggunakan media Kaldness tipe 3 (K3) sebanyak 40% dari total volume reaktor. Rata-rata efisiensi removal ammonia pada reaktor ini sebesar 60% (Bassin *et al.*, 2016).

Reaktor MBBR skala laboratorium dengan volume 2 L dan dioperasikan secara kontinu menggunakan sampel air limbah buatan. Reaktor ini diisi dengan media Kaldness 1 (K1) sebanyak 50% dari total volume reaktor. HRT reaktor selama 8 jam dan HRT pengendapan selama 4 jam. Periode *start up* dilakukan sekitar 4 minggu untuk menumbuhkan biofilm pada media, dan diikuti dengan waktu pengujian selama 10 minggu. Efisiensi removal senyawa organik dapat mencapai 95% ketika OLR nya sebesar 6 gCOD/m²hari. Ketika HRT 4 jam maka efisiensi removal ammonia dapat mencapai 90% (Bokar *et al.*, 2013). Berikut rangkuman penelitian-penelitian serupa yang digunakan sebagai referensi yang dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu tentang MBBR

No	Penelitian	Sampel	Jenis Proses	HRT (jam)	Konsentrasi Awal (mg/L)				Efisiensi Removal (%)				Nama Peneliti dan Tahun
					COD	NH ₄	NH ₃	NO ₃	COD	NH ₄	NH ₃	NO ₃	
1	MBBR dengan media PE D = 7 mm dan P = 9 mm	Lindi	<i>Continuous</i>	12-96	15000	400	-	-	93	97	-	-	(Chen <i>et al.</i> , 2008)
2	Tanpa media tetapi proses yang terjadi sama dengan proses MBBR yaitu aerobik-anoksik /anaerobik	Lindi	<i>Continuous</i>	45	-	-	2000	0,5	-	-	80	80	(Miao <i>et al.</i> , 2014)
3	MBBR dengan proses anarobic-anoxic-aerobic menggunakan FLOCOR-RMP [®] plastic media ukuran 10x15 mm	Air limbah domestik	<i>Continuous</i>	20	500	25-125	-	-	96.9	99.7	-	-	(Kermani <i>et al.</i> , 2008)

No	Penelitian	Sampel	Jenis Proses	HRT (jam)	Konsentrasi Awal (mg/L)				Efisiensi Removal (%)				Nama Peneliti dan Tahun
					COD	NH ₄	NH ₃	NO ₃	COD	NH ₄	NH ₃	NO ₃	
4	MBBR dengan <i>suspended ceramic biocarrier</i>	Air limbah	<i>Continuous</i>	64	2500	-	100	-	73	-	85	-	(Dong <i>et al.</i> , 2011)
5	MBBR dengan media PE D = 2,2 cm P = 0,1 cm	Air limbah	<i>Continuous</i>	18	2000	150	-	-	75	85	-	-	(Zhuang <i>et al.</i> , 2014)
6	MBBR dengan media HDPE D = 9,9 mm	Air limbah	<i>Batch</i>	48	2500	-	-	-	80	-	-	-	(Qaderi <i>et al.</i> , 2011)
7	MBBR dengan media Kaldnes tipe 3 (K3) D = 25 mm, P = 12 mm	Air limbah	<i>Continuous</i>	48	-	-	200	-	-	-	60	-	(Bassin <i>et al.</i> , 2016)
8	MBBR dengan media Kaldnes tipe 2 (K2) D = 10 mm, P = 15 mm	Air limbah sintetik	<i>Continuous</i>	12	1000	-	-	0,4	95	-	-	90	(Bokar <i>et al.</i> , 2013)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Metode penelitian merupakan acuan dari langkah-langkah yang akan dilakukan selama penelitian. Acuan ini merupakan gambaran secara lengkap mengenai langkah-langkah penelitian, alat, bahan yang akan digunakan, waktu penelitian termasuk prosedur penelitian. Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian skala laboratorium dimana reaktor yang digunakan dioperasikan dengan sistem *batch* dengan proses aerobik dan anoksik. Penelitian dilakukan di Workshop dan Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Lindi yang digunakan berasal dari TPA Ngipik Gresik, dan untuk *biomass* digunakan *return activated sludge* yang berasal dari IPLT Keputih.

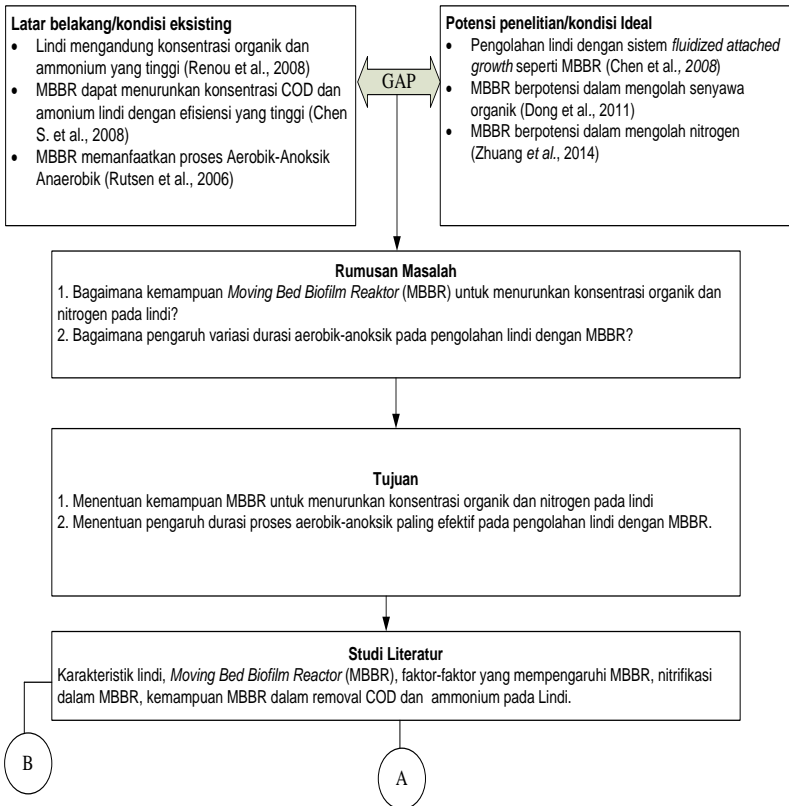
3.2 Kerangka Penelitian

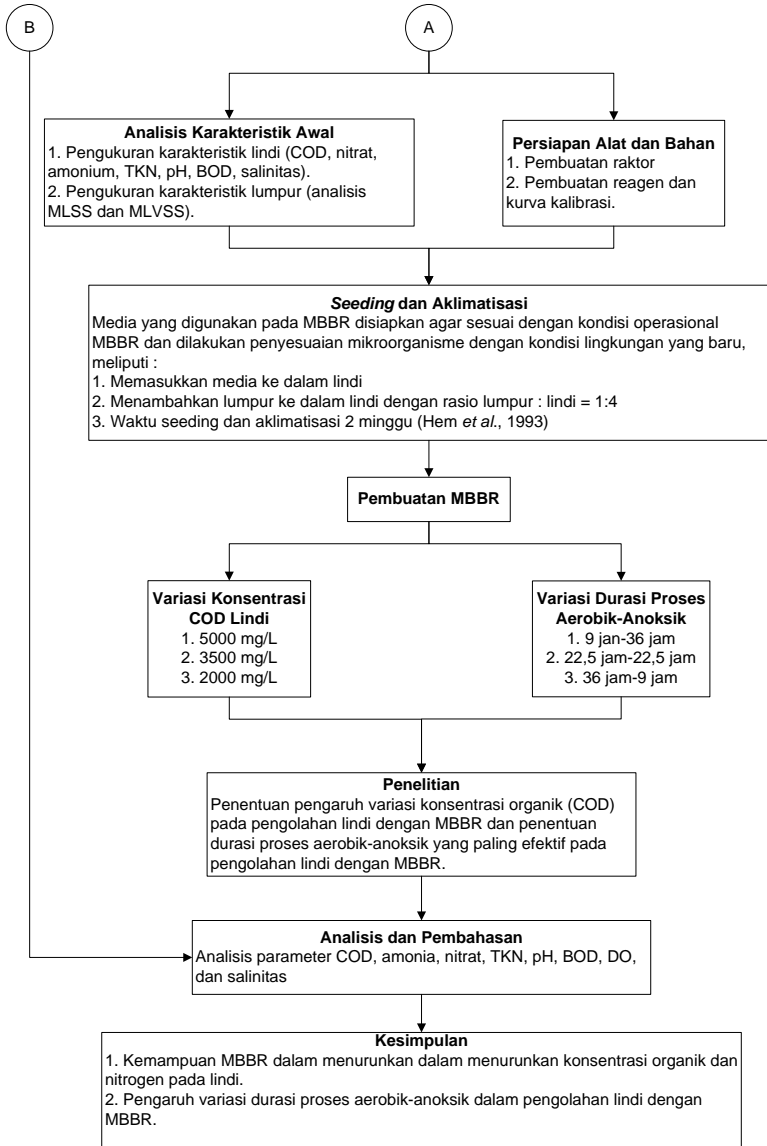
Kerangka penelitian memuat secara garis besar metode yang perlu dilakukan selama penelitian. Kerangka penelitian disusun dengan tujuan :

1. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan penelitian secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis.
2. Mengetahui tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian. Adanya kerangka penelitian yang sistematis dan digunakan dari awal penelitian sampai penulisan laporan tugas akhir, maka peneliti akan mudah melaksanakan penelitian.
3. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan penelitian.
4. Memperkecil dan menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan selama melakukan penelitian.

Penelitian ini didasarkan pada kerangka penelitian yang terdiri dari "GAP" antara kondisi ideal dengan kondisi realita

sehingga dapat ditentukan rumusan masalah dan tujuan dari adanya penelitian ini. Setelah itu, dilakukan persiapan penelitian yang terdiri dari persiapan alat dan bahan serta penelitian pendahuluan sehingga memudahkan dalam pelaksanaan penelitian. Kemudian, menganalisis dan membahas hasil penelitian untuk merumuskan kesimpulan. Kerangka penelitian tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Bahan yang diperlukan untuk penelitian ini antara lain :

1. Sampel lindi
2. Lumpur IPLT Keputih
3. Kaldness tipe 1 (K1)
4. Reagen untuk analisis COD, amonium, nitrat, dan BOD

Alat yang diperlukan untuk penelitian ini adalah :

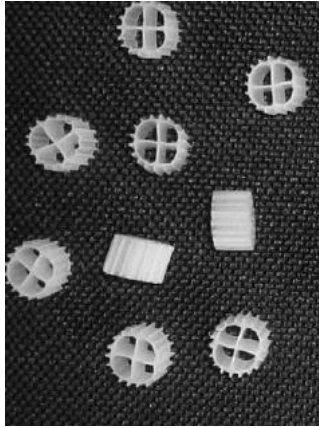
1. *Bubble aerator* kapasitas 4L/menit
2. Pompa *submersible*
3. *Glasswear*
4. pH onlab-EC 10
5. pH meter
6. Cawan porselen
7. Kertas saring
8. DO meter

3.4 Analisis Karakteristik Awal

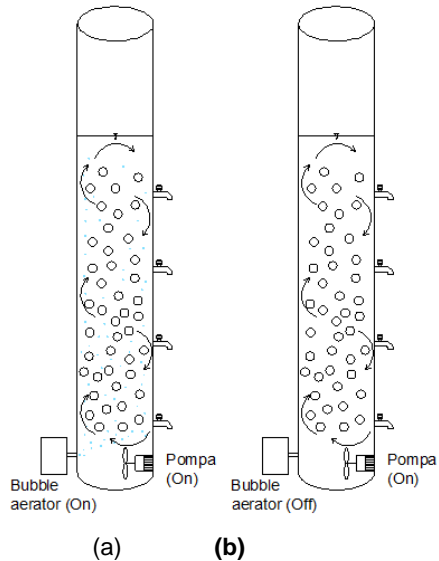
Analisis awal karakteristik lindi meliputi, analisis COD, nitrat, amonium, BOD, pH, salinitas, TKN dan analisis MLSS dan MLVSS lumpur IPLT Keputih. Berdasarkan hasil dari analisis ini dapat diketahui konsentrasi COD lindi sebenarnya sehingga dapat ditentukan variasi untuk konsentrasi COD lindi yang akan digunakan pada penelitian utama.

3.5 Pembuatan Reaktor

Reaktor terbuat dari pipa PVC dengan diameter sekitar \pm 10,16 cm (4 inchi) dan tinggi 70 cm. Volume pengolahan pada reaktor adalah 5 L. Media yang digunakan yaitu Kaldness (K1) (Gambar 3.2) sebanyak 20-50% dari volume reaktor (Bokar et al., 2013; Metcalf and Eddy, 2003). Pada penelitian ini jumlah media yang digunakan adalah 20% dari volume pengolahan yaitu 1 L. Reaktor berjumlah tiga buah sesuai dengan variasi konsentrasi COD lindi. Pada setiap reaktor dipasang *bubble aerator* dan pompa *submersible*, dimana pada saat proses aerobik pompa *submersible* dan aerator dinyalakan, sedangkan saat proses anoksik hanya pompa *submersible* yang dinyalakan. Ilustrasi pengoperasian reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Media Kaldness Tipe 1 (K1)
 Sumber : Rusten *et al.*, 2006



Gambar 3. 3 (a) Reaktor MBBR pada Tahap Aerobik, (b) Reaktor MBBR pada Tahap Anoksik

Pada setiap reaktor terdapat empat lubang, fungsi dari setiap lubang adalah sebagai berikut :

- Lubang 1 berfungsi untuk mengetahui volume reaktor yang berkurang setiap sampling, karena volume reaktor dijaga selalu 5 L pada setiap siklus untuk menghitung *mass balance*.
- Lubang 2 dan 3 berfungsi sebagai titik pengambilan sampel. Sampel diambil di dua titik agar representatif.
- Lubang 4 berfungsi untuk pengambilan lumpur untuk analisis MLSS dan MLVSS setelah proses pengendapan.

Aerator untuk suplai oksigen pada proses aerobik menggunakan *bubble aerator* dengan kapasitas 4L/menit. Agar media tetap bergerak di dalam reaktor digunakan pompa *submersible*, dan untuk mengontrol durasi proses aerobik-anoksik digunakan stop kontak timer digital. Stop kontak timer ini dapat mengatur *on-off* bubble aerator sesuai dengan durasi proses yang sudah ditetapkan.

3.6 **Seeding dan Aklimatisasi**

Seeding dilakukan untuk memperoleh mikroorganisme yang siap digunakan ketika pengoperasian MBBR. Lindi dan lumpur IPLT dimasukkan ke dalam MBBR untuk memberi makanan pada mikroorganisme agar mikroorganisme terbiasa untuk memakan lindi. Lumpur IPLT Keputih yang digunakan berasal dari RAS (*Return Activated Sludge*) unit Clarifier karena lumpur yang berasal dari unit ini memiliki konsentrasi yang tinggi dan lumpur aerobiknya sudah dalam kondisi fakultatif/anoksik. Konsentrasi MLSS lumpur yang digunakan yaitu 4000 mg/L (Hopper, 2008). Sedangkan konsentrasi lumpur IPLT Keputih adalah 28000 mg/L (Indriani, 2010). Sehingga dilakukan pengenceran terlebih dahulu untuk mencegah *sludge bulking*.

Aklimatisasi merupakan proses penyesuaian suatu organisme untuk beroperasi pada lingkungan yang baru. Lindi dan lumpur dicampur di dalam reaktor yang diaerasi selama dua minggu (14 hari). Aklimatisasi dilakukan pada tiga reaktor sesuai dengan konsentrasi reaktor yang digunakan pada penelitian utama nantinya, yaitu konsentrasi 5000 mg/L, 3500 mg/L, 2000 mg/L. *Seeding* bertujuan untuk memberikan sumber organik pada

mikroorganisme. Sumber organik yang digunakan pada minggu pertama terdiri dari 50% lindi dan 50% sukrosa yang berasal dari gula pasir, sedangkan sumber organik pada minggu kedua terdiri dari 100% lindi.

Proses aklimatisasi dilakukan bersamaan dengan *seeding*. Selama proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan pengukuran COD setiap dua hari sekali untuk mendapatkan kondisi *steady state*. Kondisi *steady state* dapat dicapai apabila efluen sampel mempunyai nilai konsentrasi COD yang konstan atau stabil (Chen *et al.*, 2008). Setelah mencapai kondisi *steady state* maka dilakukan proses *decanting* dan lumpur yang sudah teraklimatisasi digunakan untuk penelitian utama.

3.7 Penelitian Utama

Penelitian dimulai setelah proses *seeding* dan aklimatisasi selesai dan reaktor sudah mencapai kondisi *steady state*. Penelitian dilakukan dengan variasi konsentrasi COD lindi dan variasi durasi proses aerobik-anoksik. Penelitian ini untuk menentukan kemampuan MBBR dalam menurunkan konsentrasi senyawa organik dan nitrogen yang dilakukan selama 36 hari.

Waktu durasi untuk satu siklus adalah 45 jam dengan asumsi waktu pengendapan 3 jam. Setiap variasi durasi proses dioperasikan sebanyak 6 siklus. Reaktor dioperasikan dengan tiga variasi durasi proses aerobik-anoksik yaitu durasi proses aerobik-anoksik 9 jam-36 jam pada hari 1-12, kemudian hari ke 13-24 untuk durasi aerobik-anoksik 22,5 jam-22,5 jam, dan hari ke 24-36 untuk durasi proses aerobik-anoksik 36 jam-9 jam. Waktu pengoperasian reaktor untuk setiap variasi durasi dapat dilihat pada Tabel 3.1. Reaktor berjumlah tiga buah dan dioperasikan dengan konsentrasi COD lindi yang berbeda-beda seperti dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Proses aerobik dibuat dengan menyalakan aerator dan pompa *submersible*, proses anoksik dibuat dengan menyalakan pompa *submersible* saja. Reaktor MBBR ini dioperasikan dengan sistem *batch* dengan prinsip seperti *sequencing batch reactor* (SBR). Setiap selesai satu durasi proses lindi dikeluarkan (*decanting*) dan diisi kembali (*filling*) dengan konsentrasi yang berbeda untuk dioperasikan dengan durasi proses berikutnya (Metcalf and Eddy, 2003).

Tabel 3. 1 Variasi Durasi Proses Aerobik-Anoksik

Hari ke-	Durasi Proses	
	Aerobik (jam)	Anoksik (jam)
1-12	9	36
13-24	22,5	22,5
25-36	36	9

Tabel 3. 2 Variasi Konsentrasi COD

Reaktor	Konsentrasi COD Lindi (mg/L)
1	2000
2	3500
3	5000

3.8 Metode Analisis Sampel

Parameter yang dianalisis pada penelitian meliputi COD, amonium, dan nitrat, BOD, MLSS, MLVSS, DO, TKN, salinitas, dan pH. Metode analisis untuk parameter COD, amonium, nitrat, BOD, MLSS, dan MLVSS mengacu pada *standart method* (Greenberg *et al.*, 2005).

1. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Analisis COD dilakukan setiap sebelum proses aerobik, setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik. Analisis ini bertujuan untuk menentukan degradasi organik pada masing-masing reaktor, sehingga diketahui konsentrasi dan durasi proses yang paling efektif untuk menurunkan konsentrasi COD. Metode analisis yang digunakan adalah *closed reflux*.

2. Analisis Nitrogen

Analisis nitrogen terdiri dari analisis amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen, untuk parameter utama yang dilakukan sebelum proses aerobik, setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik. Sedangkan analisis Total Kjeldahl Nitrogen

(TKN) dilakukan pada awal siklus pertama (hari ke-0) dan akhir siklus keenam (hari ke-12).

Metode analisis untuk nitrogen sebagai berikut :

- Nitrat-nitrogen dianalisis dengan menggunakan *Brucine Acetate* dan dilakukan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih dahulu.
- Ammonium-nitrogen dianalisis dengan menggunakan *Nesslerization Method* yang dilakukan dengan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih dahulu.
- TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen*) dianalisis dengan menggunakan metode *kjeldahl*.

3. Analisis *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Analisis BOD merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini sehingga analisisnya dilakukan pada awal siklus pertama (hari ke-0) dan akhir siklus keenam (hari ke-12). Dari hasil analisis BOD dapat diketahui rasio BOD/COD, sehingga dapat ditentukan tingkat biodegradasi lindi.

4. Analisis Rasio F/M

Rasio F/M merupakan parameter proses yang biasanya digunakan untuk mendesain karakteristik proses dan keadaan operasi yaitu makanan (BOD) per mikroorganisme (biomasa atau MLVSS). Untuk mengetahui kecukupan biomassa atau pertumbuhan biomassa (M) dilakukan analisis *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) dan *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS). Analisis MLSS dan MLVSS dilakukan pada awal siklus pertama (hari ke-0) dan akhir siklus keenam (hari ke-12). Analisis MLSS dan MLVSS dilakukan dengan metode gravimetri.

5. *Dissolved Oxygen* (DO)

Dissolved Oxygen (DO) diukur dengan DO meter. Pengukuran DO dilakukan saat proses aerobik dan saat proses anoksik. Analisis DO bertujuan untuk mengetahui kecukupan

oksigen di dalam reaktor dan untuk memverifikasi proses yang terjadi di dalam reaktor. Dimana jika DO > 2 mg/L terjadi proses aerobik, dan apabila DO < 2 mg/L dan konsentrasi nitrat tinggi maka terjadi proses anoksik.

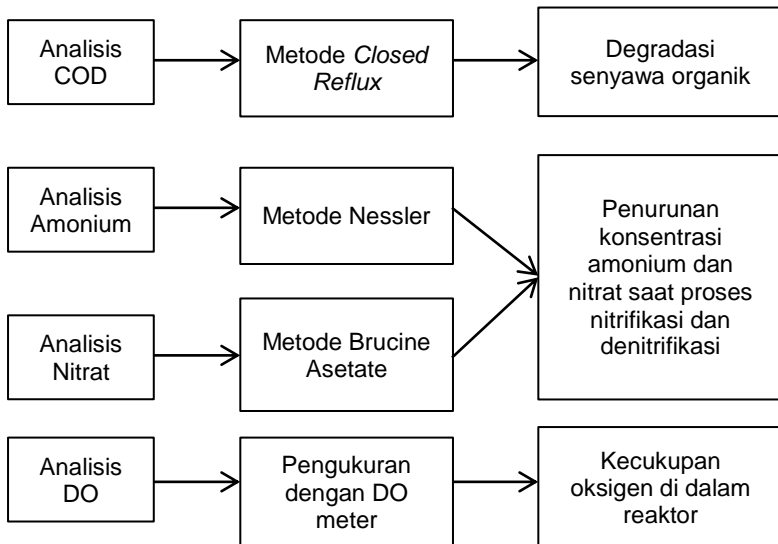
6. Analisis Salinitas

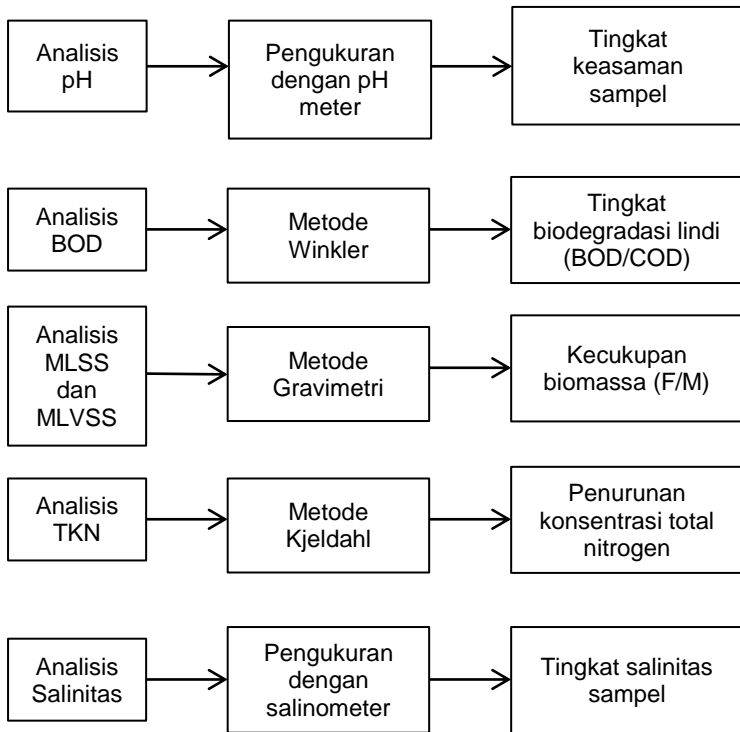
Analisis nilai salinitas diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* dengan menggunakan alat *pH onlab-EC 10*. Tujuan analisis salinitas untuk mengetahui kadar salinitas yang terkandung di dalam lindi. Pengukuran salinitas dilakukan pada awal siklus pertama (hari ke-0) dan akhir siklus keenam (hari ke-12).

7. Analisis pH

Analisis nilai pH diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* (pH meter) dengan menggunakan alat *Basic pH meter-03771 Denver Instrument*. Tujuan dari analisis pH adalah untuk menganalisis kondisi keasaman sampel.

Metode analisis untuk setiap parameter dapat dilihat pada Gambar 3.4.





Gambar 3. 4 Metode Analisis Sampel

Penentuan jumlah sampel yang dianalisis pada penelitian ini berdasarkan pelaksanaan penelitian yaitu, setiap reaktor akan diambil sampel setiap sebelum proses aerobik, setelah proses aerobik dan setelah proses anoksik secara duplo. Sehingga untuk setiap durasi proses terdapat 39 sampel. Karena terdapat tiga variasi durasi proses, maka total sampel yang dianalisis selama penelitian ini adalah 117 sampel. Penjelasan untuk jumlah sampel dapat dilihat pada ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Jumlah Sampel yang Dianalisis

Hari ke-	Reaktor	Waktu Pengambilan Sampel													
		Hari ke 0 (X0)	Siklus 1		Siklus 2		Siklus 3		Siklus 4		Siklus 5		Siklus 6		
			Setelah Aerobik (Y1)	Setelah anoksik (Z1)	Setelah Aerobik (Y2)	Setelah anoksik (Z2)	Setelah Aerobik (Y3)	Setelah anoksik (Z3)	Setelah Aerobik (Y4)	Setelah anoksik (Z4)	Setelah Aerobik (Y5)	Setelah anoksik (Z5)	Setelah Aerobik (Y6)	Setelah anoksik (Z6)	
1-12	A1	A1X0	A1Y1	A1Z1	A1Y2	A1Z2	A1Y3	A1Z3	A1Y4	A1Z4	A1Y5	A1Z5	A1Y6	A1Z6	
	A2	A2X0	A2Y1	A2Z1	A2Y2	A2Z2	A2Y3	A2Z3	A2Y4	A2Z4	A2Y5	A2Z5	A2Y6	A2Z6	
	A3	A3X0	A3Y1	A3Z1	A3Y2	A3Z2	A3Y3	A3Z3	A3Y4	A3Z4	A3Y5	A3Z5	A3Y6	A3Z6	
13-24	B1	B1X0	B1Y1	B1Z1	B1Y2	B1Z2	B1Y3	B1Z3	B1Y4	B1Z4	B1Y5	B1Z5	B1Y6	B1Z6	
	B2	B2X0	B2Y1	B2Z1	B2Y2	B2Z2	B2Y3	B2Z3	B2Y4	B2Z4	B2Y5	B2Z5	B2Y6	B2Z6	
	B3	B3X0	B3Y1	B3Z1	B3Y2	B3Z2	B3Y3	B3Z3	B3Y4	B3Z4	B3Y5	B3Z5	B3Y6	B3Z6	
25-36	C1	C1X0	C1Y1	C1Z1	C1Y2	C1Z2	C1Y3	C1Z3	C1Y4	C1Z4	C1Y5	C1Z5	C1Y6	C1Z6	
	C2	C2X0	C2Y1	C2Z1	C2Y2	C2Z2	C2Y3	C2Z3	C2Y4	C2Z4	C2Y5	C2Z5	C2Y6	C2Z6	
	C3	C3X0	C3Y1	C3Z1	C3Y2	C3Z2	C3Y3	C3Z3	C3Y4	C3Z4	C3Y5	C3Z5	C3Y6	C3Z6	

Keterangan :

- A1 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 5000 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam.
- A2 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 3500 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam.
- A3 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam.
- B1 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 5000 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam.
- B2 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 3500 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam.
- B3 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam.
- C1 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 5000 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam.
- C2 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 3500 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam.
- C3 : reaktor dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dan durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam.

3.9 Metode Analisis Data

Analisis data dan pembahasan dalam penelitian ini mencakup :

1. Kemampuan MBBR untuk menurunkan konsentrasi COD dan nitrogen lindi. Analisis dibuat dalam bentuk tabel, grafik dan interpretasi yang diperkuat dengan analisis statistik deskriptif.
2. Pengaruh durasi proses aerobik-anoksik pada pengolahan lindi dengan MBBR. Analisis dilakukan dengan uji ANOVA untuk mengetahui parameter apa saja yang berpengaruh terhadap durasi proses aerobik-anoksik. Kemudian dilakukan uji Tukey untuk mengetahui pengaruh dari setiap durasi proses terhadap parameter tersebut. Analisis ini dilakukan menggunakan program SPSS 16.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Awal Karakteristik Lindi dan Lumpur

Analisis karakteristik awal bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari lindi TPA Ngipik Gresik dan lumpur IPLT Keputih yang digunakan pada penelitian ini. Analisis karakteristik lindi meliputi analisis COD, amonia, dan nitrat yang merupakan parameter utama pada penelitian ini, selain itu juga dianalisis parameter tambahan meliputi BOD, pH, dan salinitas. Berdasarkan hasil analisis ini dapat ditentukan variasi konsentrasi lindi saat penelitian utama.

Pada penelitian ini digunakan *Return Activated Sludge* dari unit clarifier IPLT Keputih, sebagai sumber mikroorganisme. Karakteristik lumpur yang dianalisis yaitu konsentrasi MLSS dan MLVSS. Hal ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi padatan tersuspensi pada lumpur, sehingga dapat ditentukan volume lumpur yang dibutuhkan di dalam reaktor agar sesuai dengan kriteria desain konsentrasi MLSS pada MBBR.

Hasil analisis awal karakteristik awal lindi TPA Ngipik Gresik dan lumpur IPLT keputih dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lindi dan Lumpur

Parameter	Satuan	Nilai
Lindi		
COD	mg/L	7062
NH ₄ -N	mg/L	602,9
NO ₃ -N	mg/L	42,86
BOD	mg/L	601
TKN	mg/L	745,7
pH	-	8,36
Salinitas	ppt	5,48
Lumpur		
MLSS	mg/L	24000
MLVSS	mg/L	19200

4.2 Seeding dan Aklimatisasi

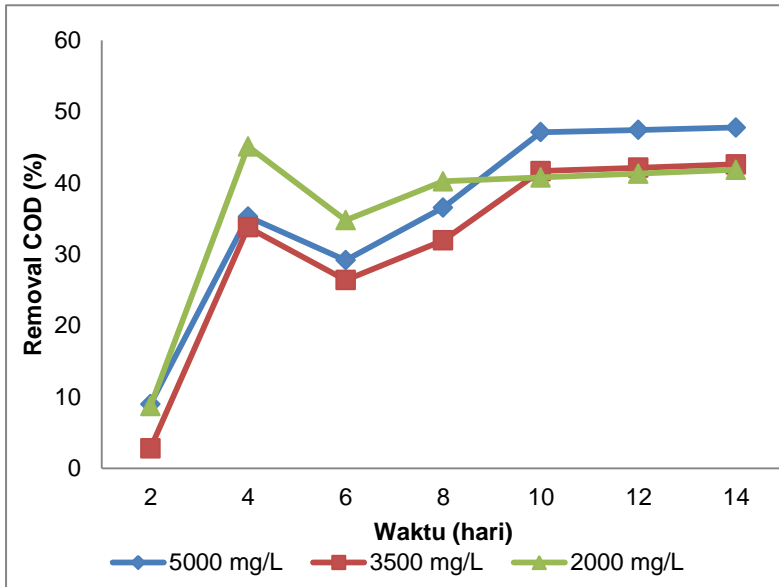
Proses *seeding* dan aklimatisasi berlangsung selama 14 hari. *Seeding* dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroorganisme sehingga didapatkan jumlah biomassa yang cukup untuk mengolah lindi pada MBBR nantinya. Mikroorganisme diambil dari *return activated sludge* unit clarifier IPLT Keputih. *Seeding* bertujuan untuk memberikan sumber organik pada mikroorganisme. Sedangkan aklimatisasi bertujuan untuk mendapatkan suatu kultur mikroorganisme yang stabil dan dapat beradaptasi dengan lindi.

Proses *seeding* berlangsung bersamaan dengan proses aklimatisasi. Lindi dan lumpur dicampur di dalam reaktor yang diaerasi selama dua minggu. Sumber organik yang digunakan pada minggu pertama terdiri dari 50% lindi dan 50% sukrosa yang berasal dari gula pasir, sedangkan sumber organik pada minggu kedua terdiri dari 100% lindi. Pemberian sukrosa ini berfungsi sebagai sumber karbon bagi mikroorganisme.

Aklimatisasi dilakukan pada tiga reaktor sesuai dengan konsentrasi COD lindi yang digunakan pada penelitian utama nantinya, yaitu 5000 mg/L, 3500 mg/L, 2000 mg/L. Kemudian reaktor diaerasi selama dua minggu, dan dilakukan analisis COD setiap dua hari sekali untuk memastikan apakah reaktor sudah berada pada kondisi *steady state*. Hasil analisis COD pada tahap aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1.

Tabel 4. 2 Konsentrasi COD pada Tahap Aklimatisasi

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi COD (mg/L)							
	Hari ke-							
	0	2	4	6	8	10	12	14
5000 mg/L	5990	5453	3878	4243	3802	3168	3149	3130
3500 mg/L	4147	4032	2746	3053	2822	2419	2400	2381
2000 mg/L	3533	3226	1939	2304	2112	2093	2074	2054

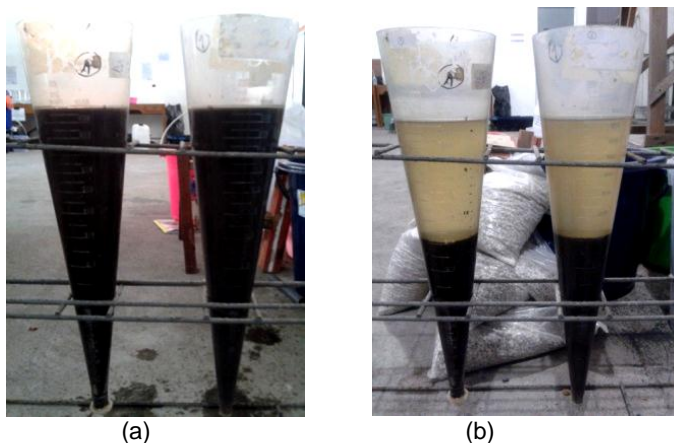


Gambar 4. 1 Removal COD pada Tahap Aklimatisasi

Berdasarkan Gambar 4.1 terlihat bahwa removal COD pada ketiga reaktor sudah stabil dari hari ke-10 hingga hari ke-14. Pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L removal COD hari ke-10 sampai hari ke-14 yaitu 47,1%-47-8%. Sedangkan pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L efisiensi removal COD pada hari ke-10 hingga hari ke-14 yaitu sebesar 41,7%-42,6%, dan pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L efisiensi removal COD pada hari ke-10 sampai hari ke-14 yaitu 40,8%-41,8%. Kondisi *steady state* dapat dicapai apabila efluen sampel mempunyai nilai konsentrasi COD yang konstan atau stabil (Chen *et al.*, 2008). Sehingga dapat dikatakan proses aklimatisasi sudah mencapai kondisi *steady state*.

Setelah proses aklimatisasi selesai, dilakukan proses *decanting* (penuangan efluen). Sehingga di dalam reaktor hanya tertinggal lumpur yang sudah teraklimatisasi. Selanjutnya lumpur tersebut digunakan pada penelitian utama.

Selain itu juga dilakukan analisis *Settleability Solid Test* yang hasilnya menunjukkan bahwa waktu pengendapan yang dibutuhkan di dalam 1 L yaitu selama 3 jam, dengan endapan lumpur yang didapatkan sebanyak 240 mL (Gambar 4.2). Artinya pada tahap *running*, di dalam setiap reaktor kapasitas 5 L akan dimasukkan sebanyak 1,2 L lumpur dengan lama waktu pengendapan selama 3 jam.



Gambar 4. 2 *Settleability Solid Test* (a) Awal, (b) Akhir

4.3 Penelitian Utama

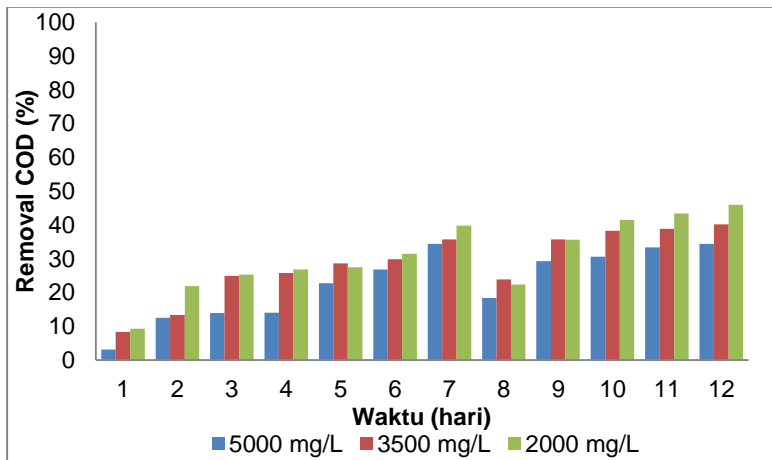
Penelitian utama berlangsung selama 36 hari. Reaktor MBBR diletakkan di dalam *workshop* Jurusan Teknik Lingkungan, sehingga cuaca hujan atau panas tidak mempengaruhi pelaksanaan penelitian. Reaktor penelitian terdiri dari 3 buah reaktor yang dioperasikan dengan konsentrasi COD lindi yang berbeda-beda, yaitu 5000 mg/L (reaktor 1), 3500 mg/L (reaktor 2), dan 2000 mg/L (reaktor 3). Kapasitas pengolahan setiap reaktor yaitu sebesar 5 L, yang terdiri dari 1,2 L lumpur dan 3,8 L lindi.

4.3.1 Hasil Penurunan Konsentrasi COD

COD merupakan parameter utama pada penelitian ini. Analisis COD bertujuan untuk mengetahui penurunan zat organik yang terjadi pada MBBR. Analisis COD dilakukan setiap sebelum

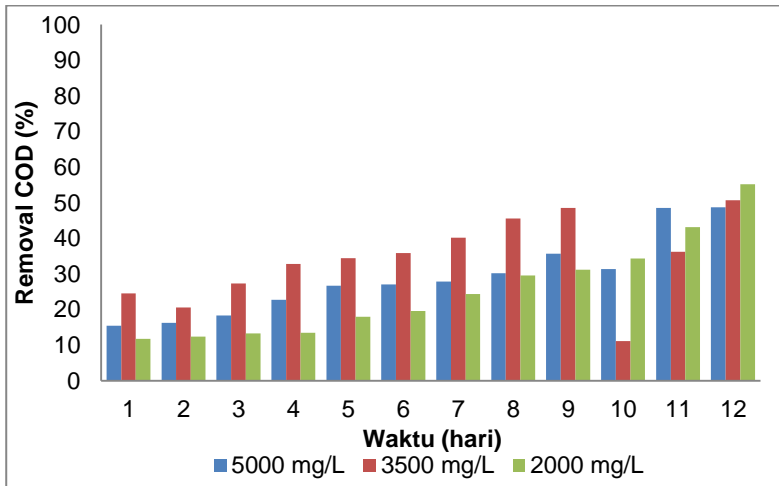
proses aerobik, setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik.

Pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam removal COD paling tinggi terjadi pada hari ke 12 (akhir siklus), dimana removal pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, dan 2000 mg/L, yaitu sebesar 34,42%, 40,23%, dan 46,02%. Tetapi pada hari ke-8 (anoksik siklus ke-4) terjadi penurunan efisiensi removal. Hal ini dapat disebabkan karena pada kondisi anoksik dapat terbentuk amonia, sehingga konsentrasi amonia menjadi naik, yang mengakibatkan bakteri sulit untuk mendegradasi zat organik (COD). Removal konsentrasi COD untuk durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam dapat dilihat pada Gambar 4.3.



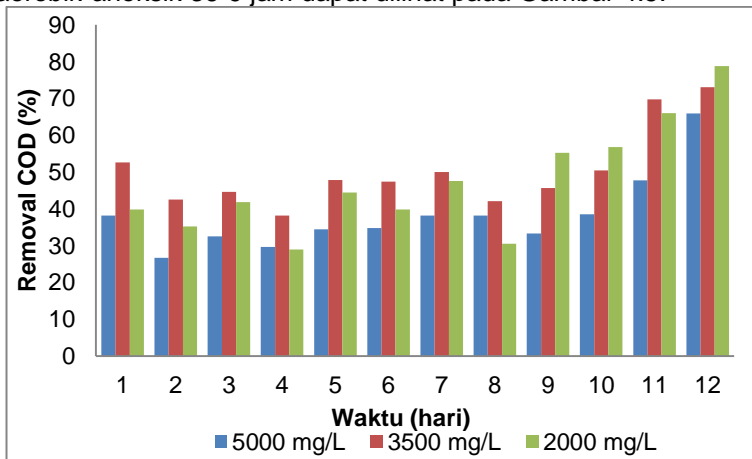
Gambar 4. 3 Efisiensi Removal Konsentrasi COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam

Pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam removal COD paling optimum juga terjadi siklus terakhir dengan efisiensi pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L yaitu 48,71%, konsentrasi COD lindi 3500 mg/L sebesar 50,66%, dan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L sebesar 55,16%. Removal konsentrasi COD pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Removal Konsentrasi COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam

Selanjutnya removal konsentrasi COD pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Removal Konsentrasi COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

Berdasarkan Gambar 4.5 pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam efisiensi removal paling baik juga terjadi pada hari terakhir dimana efisiensi removal pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L yaitu 65,93%, untuk pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L sebesar 73,03%, dan pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L mencapai 78,78%.

Berdasarkan Gambar 4.3 sampai 4.5 terlihat bahwa removal konsentrasi COD berbanding terbalik dengan konsentrasi COD lindi, yaitu semakin rendah konsentrasi lindi maka removal semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme pada penelitian ini lebih optimum mendegradasi senyawa organik pada konsentrasi organik rendah. Secara keseluruhan pada semua durasi proses terjadi penurunan konsentrasi COD yang cukup baik. Penurunan paling tinggi terjadi pada hari terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen terikat pada siklus terakhir sudah banyak sehingga oksidasi organik juga dapat dilakukan dengan optimum. Removal COD paling baik terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam, sedangkan removal COD paling rendah terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam. Hal ini menunjukkan bahwa durasi aerobik yang lebih lama akan menghasilkan removal COD yang lebih baik.

4.3.2 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrogen

Analisis nitrogen yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis amonium, nitrat, dan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Analisis amonium dan nitrat dilakukan setiap awal siklus (hari ke-0), setelah proses aerobik dan anoksik. Sedangkan untuk analisis TKN hanya dilakukan setiap awal siklus (hari ke-0) dan akhir siklus ke-6 (hari ke-12). Analisis amonium-nitrogen dilakukan dengan menggunakan metode *Nessler*, analisis nitrat-nitrogen dilakukan dengan menggunakan metode *Brucine Acetat*, dan analisis TKN dilakukan menggunakan tabung Kjeldahl.

Removal total nitrogen sebagai amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen didapatkan melalui proses aerobik dan anoksik. Proses nitrifikasi dan denitrifikasi di dalam MBBR dapat digunakan untuk removal nitrogen pada lindi. Pada proses aerobik penurunan nitrogen diakibatkan oleh pengambilan

senyawa nitrogen untuk proses pembentukan sel mikroorganisme dan nitrifikasi, dan pada proses anoksik penurunan nitrogen juga diakibatkan oleh pengambilan senyawa nitrogen untuk proses pembentukan sel mikroorganisme dan denitrifikasi.

4.3.2.1 Hasil Penurunan Konsentrasi Amonium-Nitrogen (NH₄-N)

Penurunan konsentrasi amonium dapat terjadi pada proses aerobik dan anoksik. Pada proses aerobik penurunan konsentrasi amonium terjadi karena proses nitrifikasi. Proses nitrifikasi yaitu nitrogen organik yang diubah menjadi nitrat, dengan melibatkan mikroorganisme dalam kondisi aerobik atau dalam bentuk reaksi total oksidasi seperti berikut:



(Metcalf and Eddy, 2003)

Selain itu, pada proses aerobik removal ammonia nitrogen juga dapat terjadi karena adanya *uptake* oleh mikroorganisme autotrof untuk pertumbuhan sel (asimilasi). Sedangkan pada proses anoksik penurunan amonium juga terjadi karena *uptake* oleh bakteri heterotrof.

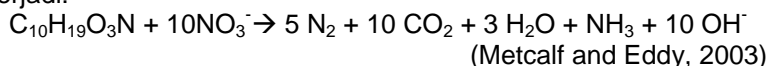
Pada penelitian ini penurunan konsentrasi amonium paling besar terjadi akibat *uptake* bakteri heterotrof pada proses anoksik. Removal amonium karena proses nitrifikasi pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, dan 2000 mg/L dengan durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam hanya 1,6%, 3%, dan 3,19%. Pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam penurunan konsentrasi amonium karena proses nitrifikasi berkisar antara 2,46%-6,22% hal ini lebih baik jika dibandingkan dengan durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam. Sedangkan penurunan konsentrasi amonium karena nitrifikasi paling baik terjadi pada durasi proses aerobik sama dengan anoksik (22,5-22,5 jam), dimana removal pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, dan 2000 mg/L, yaitu 4,86%, 6,13%, dan 9,16%. Removal amonium-nitrogen dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Removal Amonium-Nitrogen (%)

Konsentrasi COD Lindi	Removal Amonium (%)				
	Aerobik+ Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake Aerobik	Uptake Anoksik
Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam					
5000 mg/L	16,67	5,42	1,60	3,82	11,25
3500 mg/L	36,15	8,05	3,00	5,05	28,10
2000 mg/L	56,70	10,68	3,19	7,49	46,02
Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam					
5000 mg/L	53,53	14,81	4,86	9,95	38,72
3500 mg/L	54,01	14,83	6,13	8,70	39,19
2000 mg/L	61,04	22,06	9,16	12,90	38,98
Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam					
5000 mg/L	30,94	26,61	2,46	24,15	4,33
3500 mg/L	38,14	35,63	3,42	32,20	2,51
2000 mg/L	50,89	43,65	6,22	37,44	7,24

Berdasarkan Tabel 4.3 apabila dilihat untuk penurunan konsentrasi amonium secara keseluruhan (proses aerobik dan anoksik) removal amonium paling optimum juga terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam yaitu berkisar antara 53,53%-61,04%. Namun, untuk penurunan konsentrasi amonium pada proses aerobik paling baik justru terdapat pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam, dengan removal pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, dan 2000 mg/L yaitu masing-masing sebesar 26,61%, 35,63%, dan 43,65%. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Chen *et al.*, 2008), yang menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi amonium akan optimum ketika HRT proses aerobik di dalam MBBR lebih dari 1,25 hari (>30 jam) karena terjadi asimilasi mikroorganisme dan nitrifikasi. Sedangkan removal amonium pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam baik karena proses nitrifikasi maupun secara keseluruhan menunjukkan nilai removal

paling rendah. Efisiensi removal yang rendah dapat disebabkan karena lamanya proses anoksik. Pada proses anoksik, organik yang berperan sebagai elektron donor pada air limbah dengan menggunakan oksigen terikat ($\text{NO}_3\text{-N}$) sebagai aseptor elektron, juga dapat memecah organik menjadi N_2 bebas. Akan tetapi, disaat yang bersamaan juga akan terbentuk ammonia sehingga konsentrasi ammonia akan kembali bertambah. Reaksi yang terjadi:



4.3.2.2 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Denitrifikasi biologis yang terjadi di dalam reaktor yaitu dengan mengaplikasikan jenis proses denitrifikasi berupa *postanoxic denitrification*. Proses aerobik dilakukan di awal kemudian dilanjutkan dengan proses anoksik. Kondisi aerobik dilakukan untuk mempersiapkan kecukupan oksigen terikat yang dibutuhkan pada proses anoksik. Ketika *postanoxic denitrification* memiliki laju reaksi yang lebih lambat dibandingkan dengan *preanoxic denitrification*. Hal ini dikarenakan proses denitrifikasi yang hanya bergantung pada respirasi *endogeneous* untuk mendapatkan energi (Metcalf dan Eddy, 2003). Pembentukan nitrat-nitrogen merupakan hasil dari proses nitrifikasi, sedangkan penurunan konsentrasi nitrat-nitrogen dikarenakan oleh proses denitrifikasi pada kondisi anoksik (Suganda *et al.*, 2014)

Pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam dalam kondisi aerobik, terjadi peningkatan konsentrasi nitrat-nitrogen paling optimum pada konsentarsi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, dan 2000 mg/L yaitu masing-masing sebesar 18,20%, 19,58, dan 18,97%. Hal ini sebanding dengan removal nitrat-nitrogen pada kondisi anoksik karena proses denitrifikasi, dimana removal yang paling optimum juga ditunjukkan oleh durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam, pada konsentarsi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, dan 2000 mg/L yaitu masing-masing sebesar 26,09%, 29,87%, dan 28,79%. Hal ini dikarenakan pada durasi ini durasi aerobik cukup lama sehingga tersedia cukup oksigen terikat untuk proses denitrifikasi saat anoksik. Efisiensi removal

nitrat pada masing reaktor untuk setiap durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Tabel 4.4.

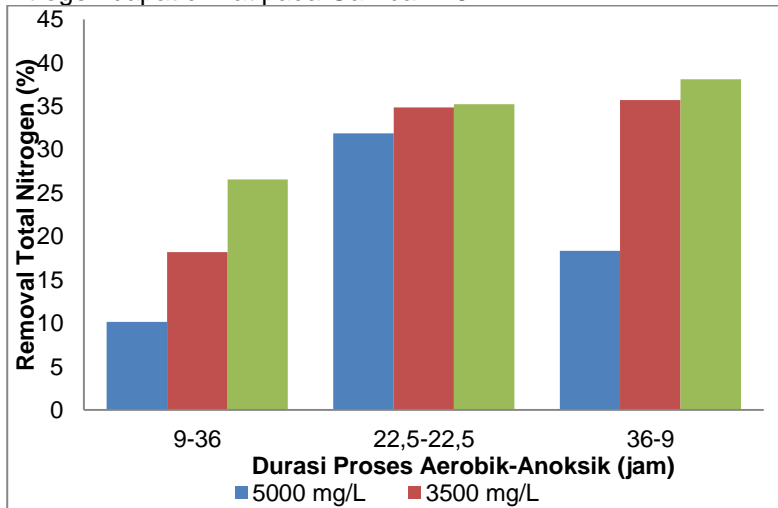
Tabel 4. 4 Removal Nitrat-Nitrogen (%)

Konsentrasi COD Lindi	Removal Nitrat (%)			
	Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	<i>Uptake</i> Anoksik
Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam				
5000 mg/L	9,14	12,73	5,60	7,13
3500 mg/L	10,12	21,34	6,80	14,54
2000 mg/L	9,04	30,59	9,02	21,57
Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam				
5000 mg/L	18,20	48,26	26,09	22,17
3500 mg/L	19,58	53,73	29,87	23,86
2000 mg/L	18,97	49,67	28,79	20,88
Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam				
5000 mg/L	4,72	8,57	6,06	2,51
3500 mg/L	6,41	10,82	8,54	2,28
2000 mg/L	7,83	15,39	10,16	5,23

4.3.2.3 Hasil Penurunan Konsentrasi Total Nitrogen dan *Mass Balance Nitrogen*

Total nitrogen merupakan gabungan dari Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) dan nitrat. Penurunan konsentrasi total nitrogen paling optimum terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 22,2-22,5 dengan removal pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, 2000 mg/L yaitu masing-masing sebesar 31,86%, 34,85%, dan 35,24%. Hal ini sebanding dengan penurunan konsentrasi amonium dan nitrat yang juga optimum pada durasi proses tersebut. Sedangkan penurunan konsentrasi total nitrogen yang paling rendah terjadi pada durasi proses 9-36 jam, yaitu sebesar 10,17% pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, 18,20% pada konsentrasi COD lindi 3500 mg/L, dan

26,57% pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L. Removal total nitrogen dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Efisiensi Removal Konsentrasi TN pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik

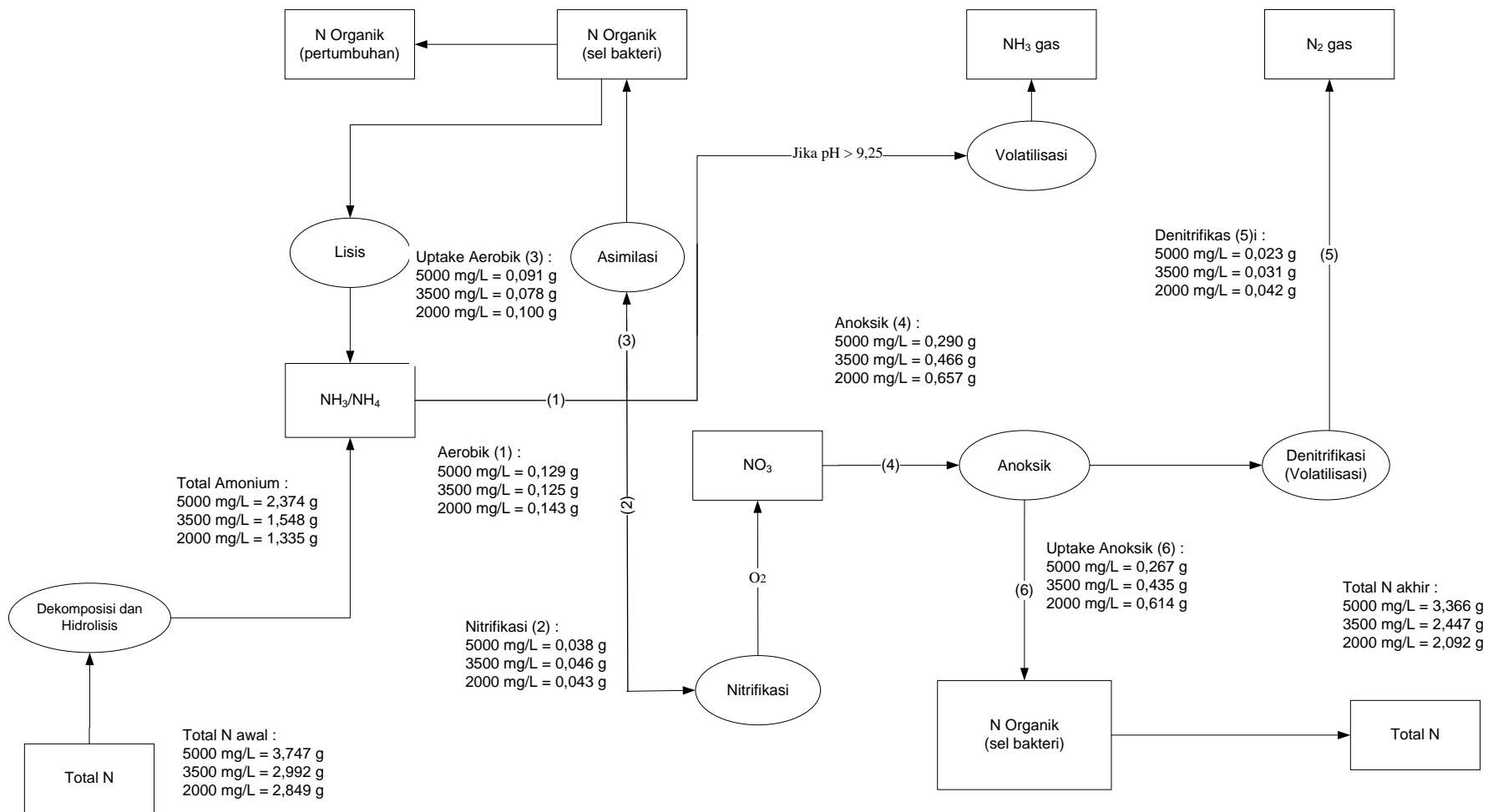
Melalui removal total nitrogen dapat ditentukan *mass balance* dari siklus nitrogen. Melalui *mass balance* terlihat penyisihan konsentrasi nitrogen pada proses aerobik maupun anoksik. Pada kondisi aerobik terjadi removal ammonia karena adanya proses nitrifikasi ammonia menjadi nitrat dan proses asimilasi oleh sel bakteri autotrofik (*uptake*), yang ditunjukkan oleh siklus (1). Removal ammonia-nitrogen karena proses nitrifikasi ditunjukkan oleh siklus (2). Siklus (3) menunjukkan asimilasi ammonia oleh sel bakteri autotrofik (*uptake*) yang berupa ion ammonium (NH_4^+). Siklus (4) menunjukkan total removal nitrat-nitrogen karena proses denitrifikasi menjadi N_2 gas dan *uptake* anoksik. Pada kondisi anoksik terjadi proses denitrifikasi nitrat menjadi N_2 gas dengan memanfaatkan bakteri heterotrofik, yang ditunjukkan pada siklus (5). Siklus (5) menunjukkan adanya proses *uptake* nitrat oleh sel bakteri akibat kondisi anoksik di dalam reaktor (Metcalf and Eddy, 2003). Perhitungan *mass balance* nitrogen dapat dilihat pada Tabel 4.5, sedangkan untuk skema *mass balance* pada setiap durasi proses dapat dilihat pada Gambar 4.7 sampai Gambar 4.9.

Tabel 4. 5 Mass Balance Nitrogen

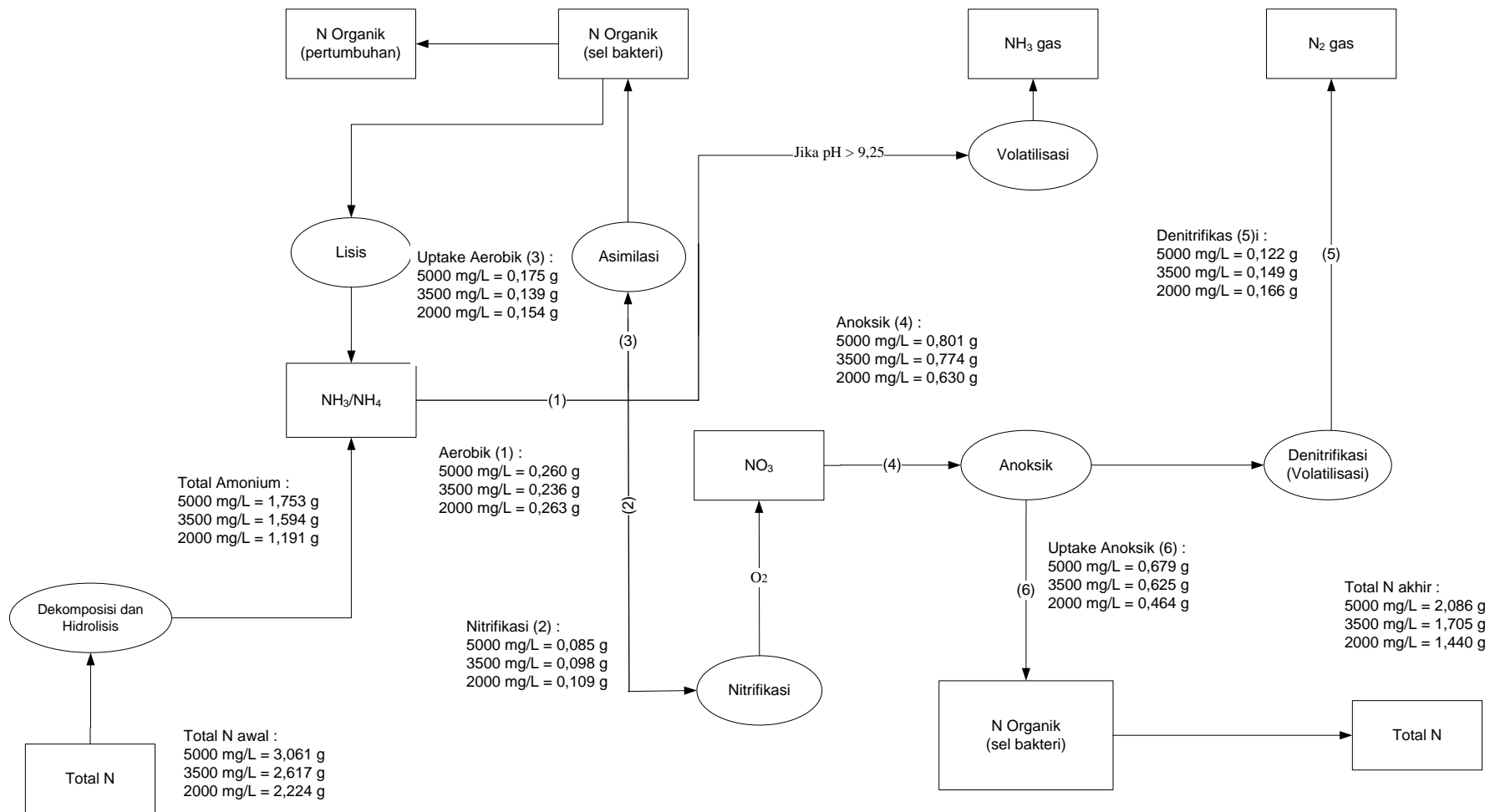
Durasi Proses Aerobik-Anoksik	Konsentrasi COD Lindi	Massa (g)							
		Total amonium	Total N awal	Total N akhir	Removal Amonium				
					Aerobik+Anoksik	Aerobik	Nitrifikasi	Uptake aerob	Anoksik
9-36 jam	5000 mg/L	2,374	3,747	3,366	0,396	0,129	0,038	0,091	0,267
	3500 mg/L	1,548	2,992	2,447	0,560	0,125	0,046	0,078	0,435
	2000 mg/L	1,335	2,849	2,092	0,757	0,143	0,043	0,100	0,614
22,5-22,5 jam	5000 mg/L	1,753	3,061	2,086	0,939	0,260	0,085	0,175	0,679
	3500 mg/L	1,594	2,617	1,705	0,861	0,236	0,098	0,139	0,625
	2000 mg/L	1,191	2,224	1,440	0,727	0,263	0,109	0,154	0,464
36-9 jam	5000 mg/L	1,619	2,792	2,280	0,501	0,431	0,040	0,391	0,070
	3500 mg/L	1,668	1,835	1,180	0,636	0,594	0,057	0,537	0,042
	2000 mg/L	1,185	1,640	1,015	0,603	0,517	0,074	0,444	0,086

Lanjutan Tabel 4.5

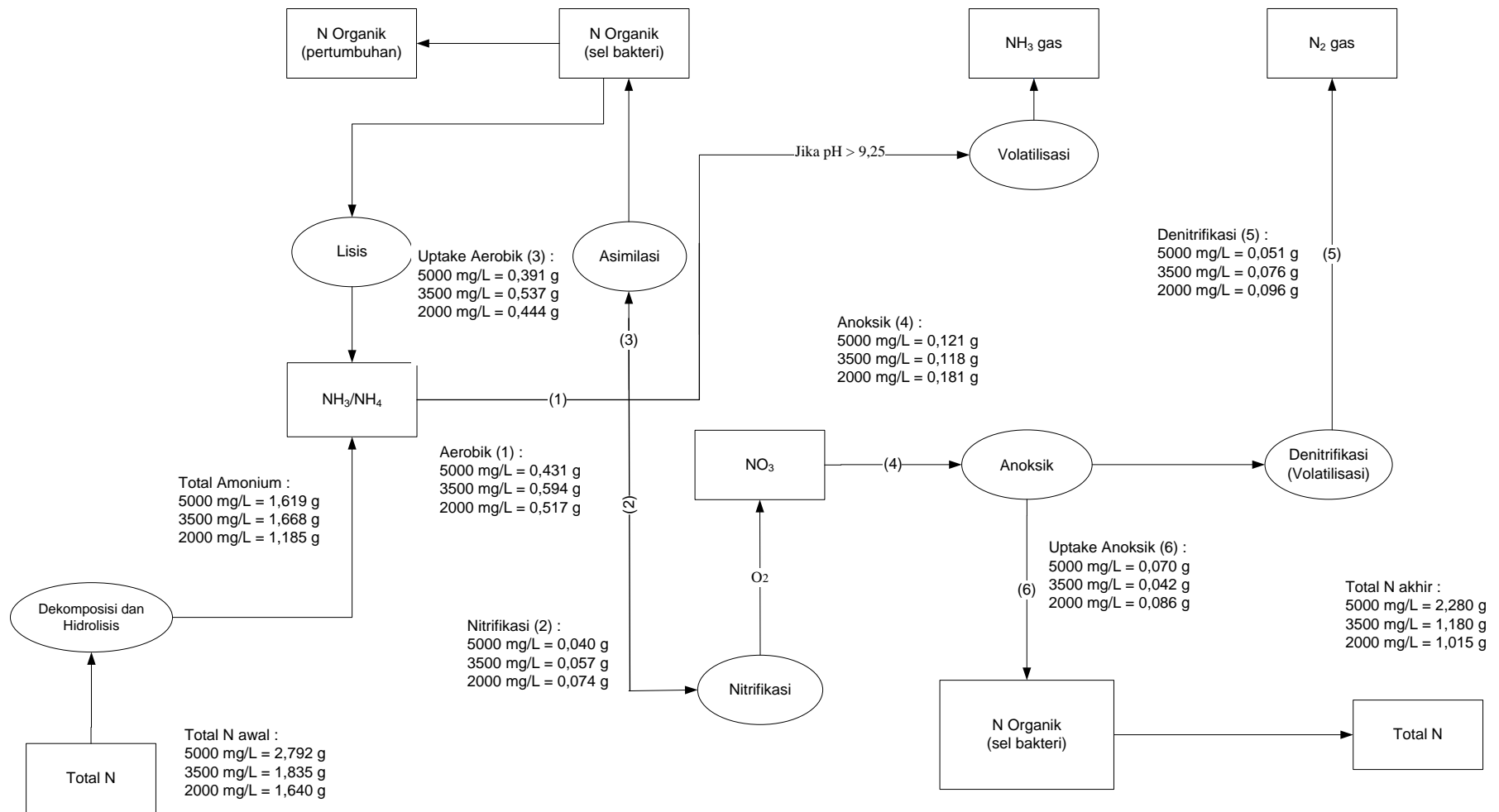
Massa (g)				
Removal Nitrat				
Aerobik	Anoksik	Denitrifikasi	Uptake anoksik	Removal Total N
0,038	0,290	0,023	0,267	0,381
0,046	0,466	0,031	0,435	0,544
0,043	0,657	0,042	0,614	0,757
0,085	0,801	0,122	0,679	0,976
0,098	0,774	0,149	0,625	0,912
0,109	0,630	0,166	0,464	0,784
0,040	0,121	0,051	0,070	0,512
0,057	0,118	0,076	0,042	0,655
0,074	0,181	0,096	0,086	0,625



Gambar 4. 7 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam



Gambar 4. 8 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam

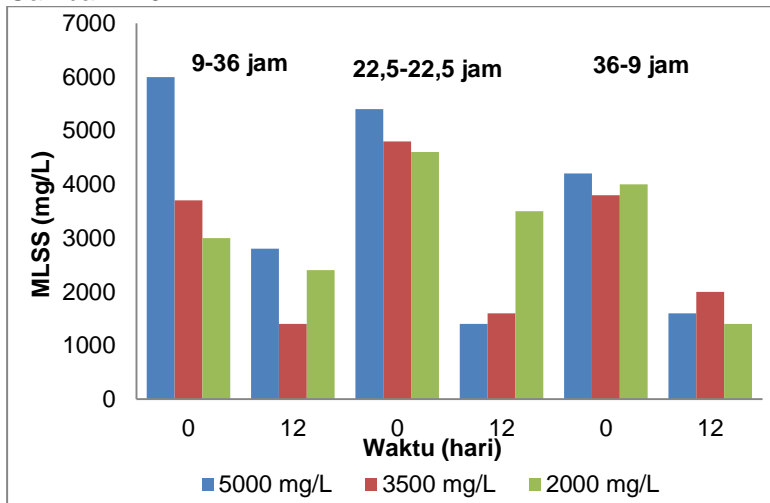


Gambar 4. 9 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

4.3.3 Analisis *Biomass* sebagai MLSS

Analisis MLSS dilakukan pada awal siklus (hari ke-0) dan akhir siklus keenam (hari ke-12). MLSS merupakan jumlah padatan organik dan mineral yang tersuspensi, termasuk mikroorganisme di dalam larutan yang tercampur (Gracia *et al.*, 2006). Ketersediaan mikroorganisme di dalam reaktor dapat diketahui melalui pengukuran MLSS.

Pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam konsentrasi MLSS pada hari ke-0 berkisar antara 3000 mg/L-6000 mg/L. Pada hari ke-12 terjadi penurunan konsentrasi MLSS sehingga konsentrasi MLSS berkisar antara 1400 mg/L-2800 mg/L. Pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 konsentrasi MLSS tidak terlalu berbeda untuk setiap konsentrasi COD lindi pada hari ke-0, yaitu berkisar antara 4800 mg/L-5400 mg/L. Pada hari ke-12 konsentrasi MLSS berkisar antara 1400 mg/L-3500 mg/L. Pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam konsentrasi MLSS pada hari ke-0 berkisar antara 3800 mg/L-4200 mg/L dan pada hari ke-12 berkisar antara 1400 mg/L-2000 mg/L. Konsentrasi MLSS pada setiap durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Gambar 4.10.

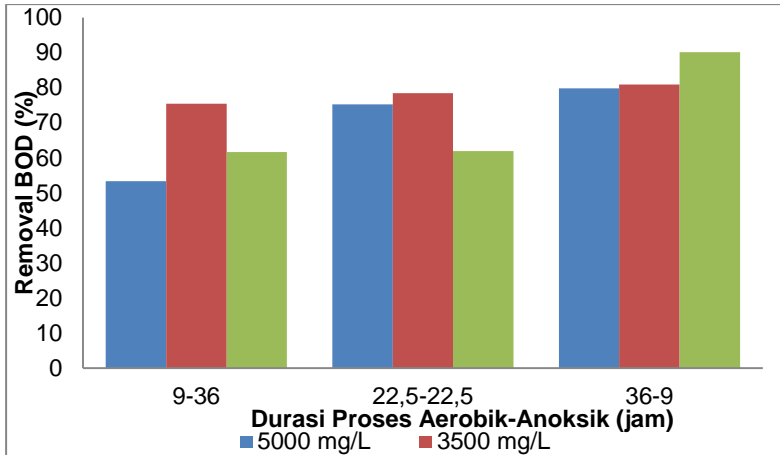


Gambar 4. 10 Konsentrasi MLSS pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa pada setiap durasi proses aerobik-anoksik pada masing-masing reaktor terjadi penurunan konsentrasi MLSS. Hal ini dapat disebabkan karena terjadi respirasi *endogenous* yaitu penggunaan oksigen terikat (NO_3) sebagai aseptor elektron untuk mengoksidasi senyawa organik selain lindi, yang di dalam hal ini adalah mikroorganisme itu sendiri. Mikroorganisme akan cenderung mendegradasi senyawa organik yang memiliki komposisi organik lebih sederhana. Mikroorganisme memiliki komposisi organik (sel organik) yang lebih sederhana dibandingkan dengan komposisi organik lindi sehingga pada proses anoksik ini mikroorganisme justru saling mendegradasi, antar mikroorganisme yang satu dengan yang lainnya (Metcalf and Eddy, 2003).

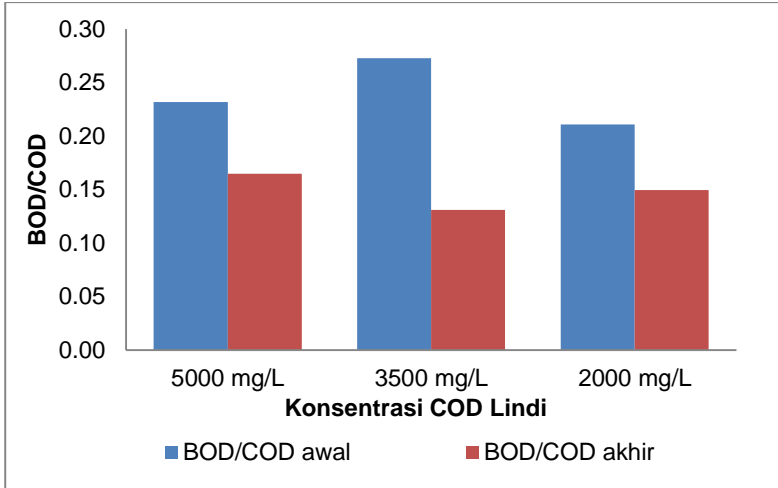
4.3.4 Analisis BOD dan BOD/COD

BOD merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini sehingga analisisnya dilakukan hanya pada siklus pertama (hari ke-0) dan hari ke-12 (siklus terakhir). Nilai BOD yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai BOD_5 . Hasil analisis laboratorium menunjukkan konsentrasi BOD sampel yang tergolong rendah. Konsentrasi BOD yang rendah dapat disebabkan karena konsentrasi ammonia yang tinggi pada sampel di setiap reaktor sehingga bersifat toksik. Penurunan konsentrasi BOD yang paling optimum yaitu pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam, pada konsentrasi COD lindi 5000 mg/L, 3500 mg/L, dan 2000 mg/L, yaitu sebesar 79,8%, 80,9%, dan 90,1%. Removal BOD paling tinggi terjadi pada konsentrasi CoD lindi 2000 mg/L, hal ini sesuai dengan kemampuan mikroorganisme yang dapat mendegradasi bahan organik dengan cepat pada konsentrasi yang rendah. Efisiensi removal BOD untuk setiap konsentrasi COD lindi pada setiap durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Gambar 4.11.

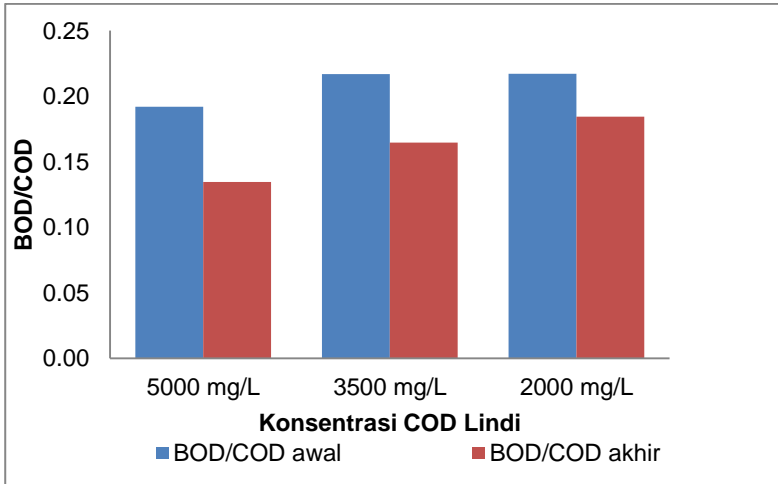


Gambar 4. 11 Removal BOD pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik

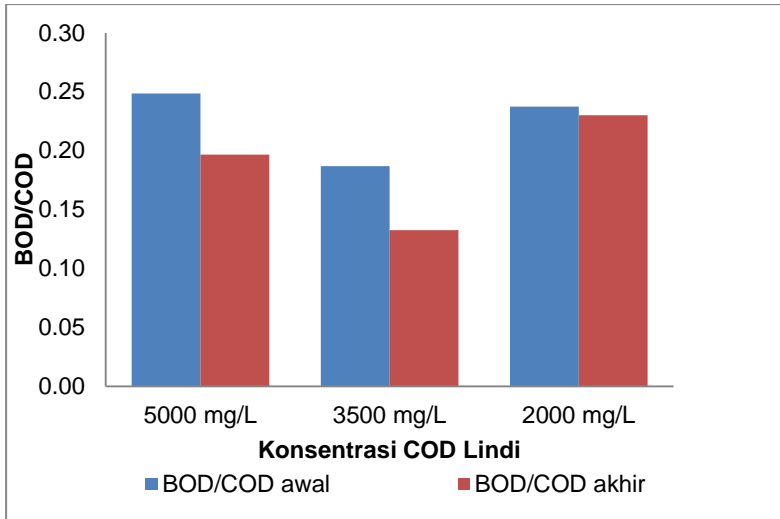
Selanjutnya dilakukan juga analisis BOD/COD rasio BOD/COD digunakan untuk mengetahui tingkat biodegradasi dari lindi. Pada penelitian ini terjadi penurunan Penurunan nilai BOD/COD ini disebabkan karena terjadi penurunan konsentrasi BOD yang lebih banyak dibandingkan dengan konsentrasi COD. Nilai BOD/COD yang kecil mengindikasikan kecenderungan zat organik yang diolah pada limbah tersebut lebih *biodegradable* sehingga lebih tinggi dalam menurunkan konsentrasi BOD₅ daripada COD. Pada durasi proses 9-36 jam, rasio BOD/COD hari ke-0 berkisar antara 0,21-0,27 dan pada hari ke-12 berkisar antara 0,13-0,17. Pada durasi 22,5-22,5 jam, rasio BOD/COD pada hari ke-0 berkisar antara 0,19-0,22 dan pada hari ke-12 berkisar antara 0,13-0,18. Pada durasi 36-9 jam rasio, rasio BOD/COD pada hari ke-0 sekitar 0,19-0,25 dan pada hari ke-12 rasio BOD/COD sekitar 0,13-0,23. Hasil analisis BOD/COD untuk setiap konsentrasi COD lindi pada setiap durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai Gambar 4.14.



Gambar 4. 12 Rasio BOD/COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam



Gambar 4. 13 Rasio BOD/COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam



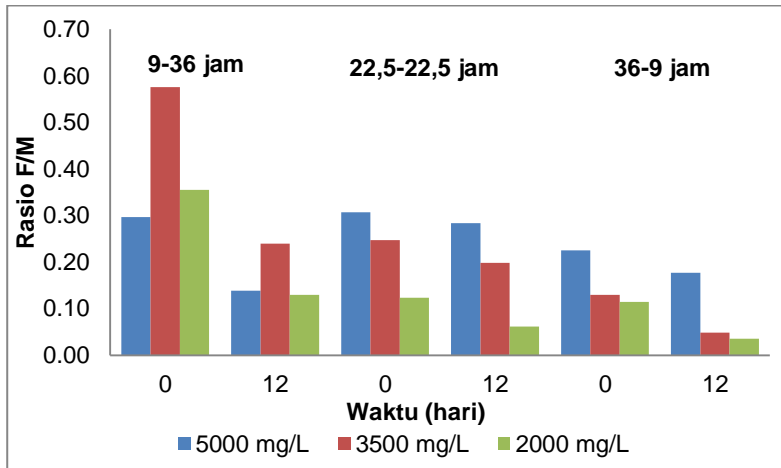
Gambar 4. 14 Rasio BOD/COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

4.3.5 Analisis F/M

Rasio F/M merupakan sebuah parameter proses yang biasanya digunakan untuk mendesain karakteristik proses dan keadaan operasi yaitu rasio substrat (BOD) per mikroorganisme (biomassa atau MLVSS). Secara keseluruhan rasio F/M mengalami penurunan untuk setiap konsentrasi COD lindi pada semua durasi proses aerobik-anoksik. Penurunan rasio F/M ini disebabkan karena turunnya konsentrasi BOD. Selain itu penurunan rasio F/M juga dapat diakibatkan karena terjadi peningkatan jumlah mikroorganisme, hal ini ditandai dengan meningkatnya rasio MLVSS/MLSS. Sehingga substrat yang tersedia tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan mikroorganisme. Namun, rasio F/M masih berada pada batas minimum rasio F/M untuk proses biologis yang tergolong *high rate process*, yaitu 0,04-1,0 g organik/g biomassa.hari (Metcalf dan Eddy, 2003).

Pada durasi proses 9-36 jam, rasio F/M hari ke-0 berkisar antara 0,30-0,58 dan pada hari ke-12 berkisar antara 0,13-0,24. Pada durasi 22,5-22,5 jam, rasio F/M pada hari ke-0 berkisar antara 0,12-0,31 dan pada hari ke-12 berkisar antara 0,06-0,28.

Pada durasi 36-9 jam rasio, rasio F/M pada hari ke-0 sekitar 0,11-0,22 dan pada hari ke-12 rasio F/M sekitar 0,04-0,18. Hasil analisis rasio F/M pada semua durasi proses dapat dilihat pada Gambar 4.15.



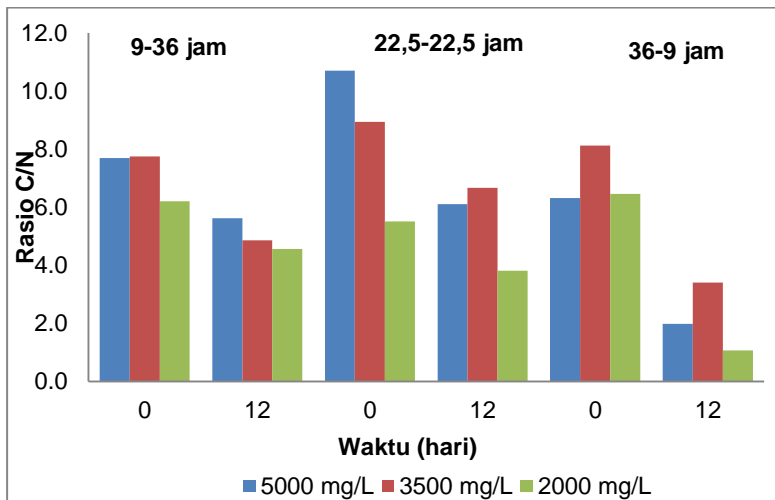
Gambar 4. 15 Rasio F/M pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik

4.3.6 Analisis C/N

Salah satu faktor yang mempengaruhi pengolahan biologis yaitu adanya ketersediaan nutrisi untuk mikroorganisme. Nutrisi merupakan faktor yang berpengaruh besar dalam proses sintesis dan pertumbuhan sel, serta dalam aktivitas enzim yang dihasilkan oleh bakteri untuk mendegradasi polutan. Beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan mikroorganisme adalah karbon dan nitrogen. Pada dasarnya semua mikroorganisme memerlukan karbon sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitasnya. Nitrogen juga merupakan penyusun senyawa-senyawa penting dalam sel yang menentukan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme. Kedua unsur ini harus ada dalam rasio yang tepat agar tercapai pertumbuhan bakteri yang optimal. Nilai rasio C/N yang rendah (kandungan unsur N yang tinggi) akan meningkatkan emisi dari nitrogen sebagai amonium yang dapat menghalangi perkembangbiakan bakteri. Sedangkan, nilai rasio

C/N yang tinggi (kandungan unsur N yang relatif rendah) akan menyebabkan proses degradasi berlangsung lebih lambat karena nitrogen akan menjadi faktor penghambat (*growth-rate limiting factor*) (Alexander, 1994).

Rasio C/N tergantung dari kontaminan yang ingin didegradasi, bakteri serta dari jenis nitrogen yang digunakan. Pada penelitian ini nilai C yang digunakan berasal nilai konsentrasi COD, dan nilai N yang digunakan berasal dari konsentrasi TN (TKN+NO₃N). Pada durasi proses 9-36 jam, rasio C/N hari ke-0 berkisar antara 6,2-7,8. Pada durasi 22,5-22,5 jam, rasio C/N pada hari ke-0 berkisar antara 5,5-9,7. Pada durasi 36-9 jam rasio, rasio C/N pada hari ke-0 sekitar 6,3-8,1. Terlihat bahwa sejak awal proses (hari ke-0) semua konsentrasi COD lindi tidak ada yang memenuhi rasio C/N optimum, yaitu 100:10. Rasio C/N untuk semua konsentrasi COD lindi pada setiap durasi proses dapat dilihat pada Gambar 4.16.



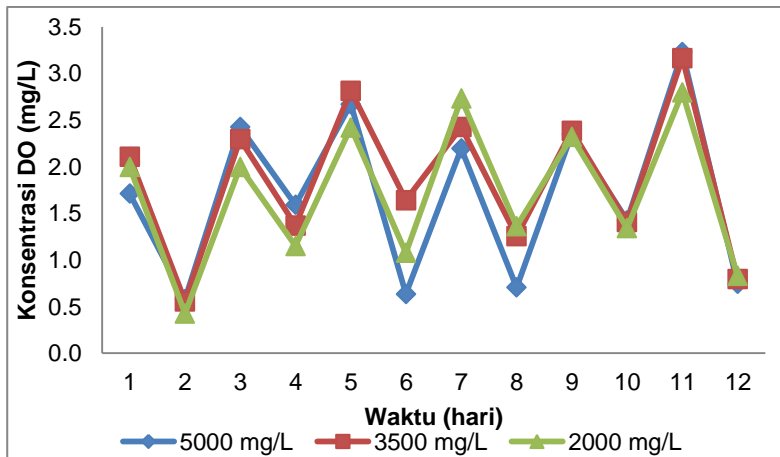
Gambar 4. 16 Rasio C/N pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik

Berdasarkan Gambar 4.16 terlihat bahwa secara keseluruhan pada semua konsentrasi COD lindi terjadi penurunan rasio C/N. Rasio C/N yang turun menunjukkan bahwa unsur karbon dan bahan organik lainnya telah didekomposisi oleh

bakteri. Beberapa penelitian yang mengaplikasikan proses aerobik di dalam pengolahan biologis menunjukkan bahwa rasio C/N optimum untuk proses biodegradasi adalah 10 atau 100:10 (Shewfelt *et al.*, 2005). Pada akhir siklus rasio C/N tidak ada yang mencapai kondisi optimum. Karena konsentrasi nitrogen pada lindi yang sejak awal tinggi sehingga menjadi toksik bagi mikroorganismenya.

4.3.7 Analisis Dissolved Oxygen

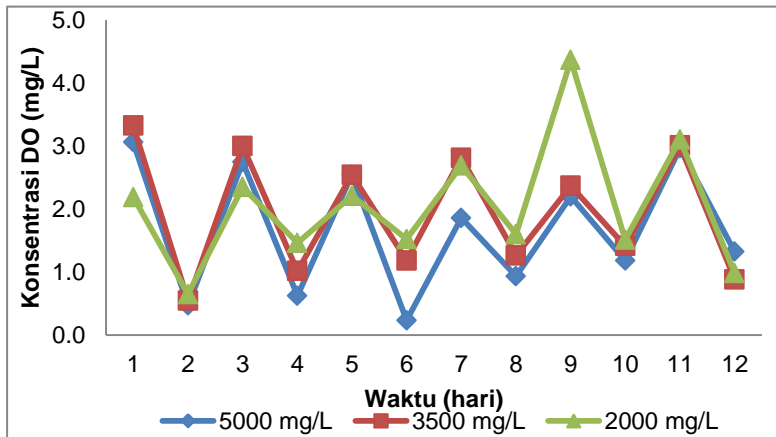
Analisis Dissolved Oxygen dilakukan pada setiap siklus, bertujuan untuk mengetahui kecukupan oksigen di setiap reaktor dan untuk memastikan proses yang terjadi di dalam reaktor. Pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, dimana salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu konsentrasi oksigen terlarut. Agar proses nitrifikasi dapat berlangsung dibutuhkan konsentrasi DO >2mg/L (Titiresmi and Nida Sopiah, 2006). Sedangkan pada kondisi anoksik terjadi proses denitrifikasi dan pada proses denitrifikasi ini konsentrasi DO <2 mg/L. Pengukuran DO dilakukan menggunakan DO meter. Hasil analisis DO pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 9-36 jam

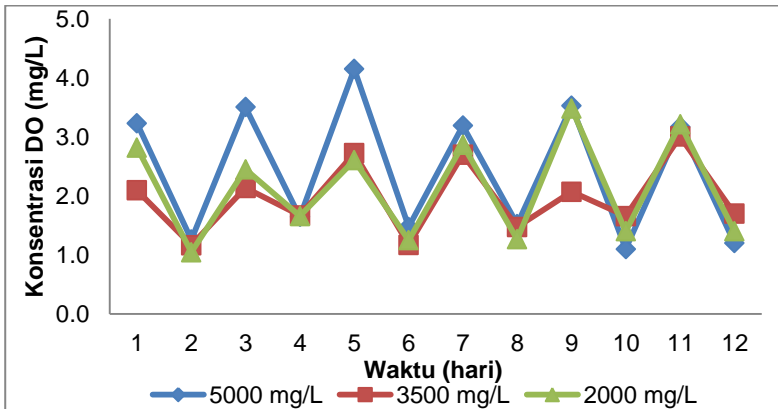
Berdasarkan Gambar 4.17 konsentrasi DO pada kondisi aerobik yaitu sebesar 1,7 mg/L-3,2 mg/L. Konsentrasi DO paling rendah terjadi pada siklus aerobik pertama untuk konsentrasi COD lindi 5000 mg/L dan 2000 mg/L. Hal ini dikarenakan reaktor baru dioperasikan sehingga oksigen terlarut yang tersedia masih sedikit. Tetapi secara keseluruhan konsentrasi oksigen terlarut pada proses aerobik masih berada pada kondisi untuk proses nitrifikasi, dengan rata-rata konsentrasi DO pada kondisi aerobik yaitu 2,4 mg/L. Pada kondisi anoksik konsentrasi DO berada pada rentang 0,4 mg/L-1,6 mg/L, dengan rata-rata konsentrasi DO yaitu 1 mg/L.

Pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam konsentrasi DO pada semua konsentrasi COD lindi untuk kondisi aerobik yaitu sebesar 2,1 mg/L-4,2 mg/L. hal ini menunjukkan bahwa setiap reaktor sudah berada pada kondisi untuk proses nitrifikasi. Secara keseluruhan konsentrasi DO pada kondisi aerobik paling baik untuk ketiga reaktor terjadi pada hari ke-11 (siklus ke-5). Sementara pada kondisi anoksik konsentrasi DO berada pada rentang 0,2 mg/L-1,6 mg/L, yang menunjukkan bahwa setiap reaktor sudah memiliki konsentrasi DO untuk proses denitrifikasi. Konsentrasi DO untuk durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam

Pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 konsentrasi DO pada kondisi aerobik maupun anoksik sudah berada pada konsentrasi DO untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Konsentrasi DO saat kondisi aerobik di semua reaktor yaitu 2,1 mg/L-4,2 mg/L. Sedangkan konsentrasi DO saat anoksik yaitu 1 mg/L-1,7 mg/L. Konsentrasi DO pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

Hasil pengukuran konsentrasi DO pada tiga variasi durasi proses aerobik-anoksik menunjukkan bahwa konsentrasi DO saat kondisi aerobik sebanding dengan lamanya waktu durasi proses aerobik. Rata-rata konsentrasi DO saat kondisi aerobik yang paling tinggi terdapat pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam, yaitu sebesar 2,9 mg/L, dan rata-rata konsentrasi DO saat aerobik paling rendah pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam yaitu 2,4 mg/L.

4.3.8 Analisis pH

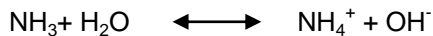
pH merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Namun, pengukuran pH tetap dilakukan setiap setelah proses aerobik dan setelah proses anoksik. Hal ini untuk mengetahui

apakah proses yang terjadi di dalam reaktor sudah berada pada pH optimum untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi.

Umumnya nitrifikasi berlangsung optimal pada pH 7,7-8,9 dan akan berhenti pada pH 5-5,5. Mikroorganisme yang berperan dalam nitrifikasi yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. pH optimum untuk *Nitrosomonas* berkisar antara 8,5-8,5 dan pH optimum untuk *Nitrobacter* yaitu 8,3-9,3 (Shammas, 1986). Sedangkan pH paling efektif untuk proses denitrifikasi berkisar antara 7-8,5 (Herlambang and Marsidi, 2003).

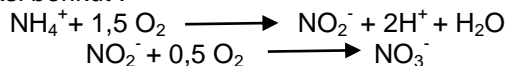
Berdasarkan hasil pengukuran pH pada semua durasi proses, secara umum semua durasi pada kondisi aerobik semua reaktor pada setiap durasi proses berada pada rentang pH optimum untuk nitrifikasi, sedangkan pada kondisi anoksik tidak semua reaktor pada setiap durasi berada pada kondisi pH optimum untuk denitrifikasi. Pada durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam. pH pada kondisi aerobik berada pada rentang 8,3-8,9 sedangkan pada kondisi anoksik yaitu 8-8,7. Nilai pH pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam pada kondisi aerobik yaitu 8,4-9,1 dan pada kondisi anoksik yaitu 8,2-9. Nilai pH pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam pada kondisi aerobik yaitu 7,7-9,1 dan pada kondisi anoksik yaitu 7,7-9.

Namun, nilai pH di semua durasi proses menunjukkan tren yang sama. Setelah proses aerobik terjadi kenaikan pH, sebaliknya terjadi penurunan pH setelah proses anoksik. Kenaikan pH ini disebabkan karena naiknya konsentrasi amonium yang berasal dari perubahan bentuk ammonia-nitrogen menjadi bentuk ionnya yang berupa amonium jika terlarut di dalam air. Sehingga ion OH⁻ di dalam limbah akan menjadi naik yang berdampak pada naiknya nilai pH sebagaimana reaksi berikut:



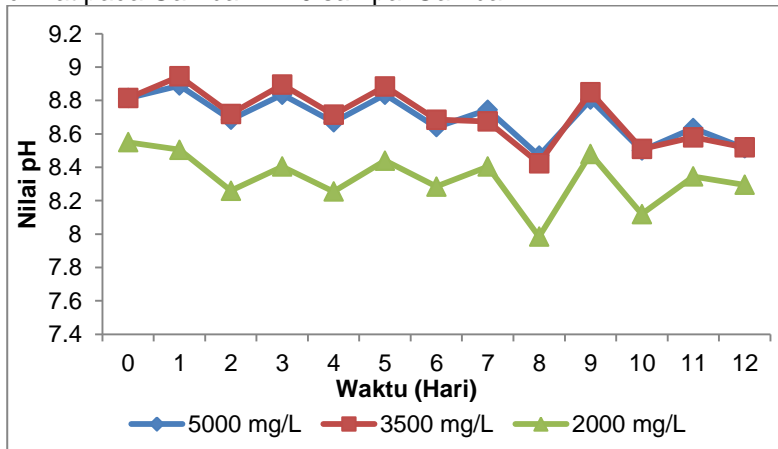
(Herlambang and Marsidi, 2003)

Penurunan pH terjadi akibat pembentukan nitrat (nitrifikasi) sesuai reaksi berikut :

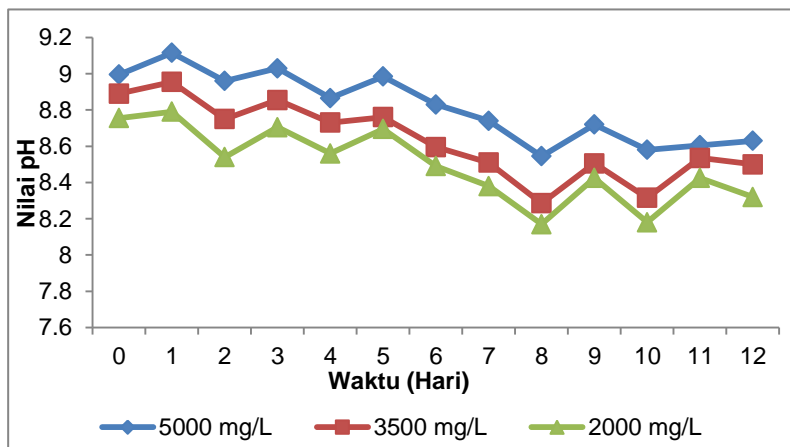


(Åkerman, 2005)

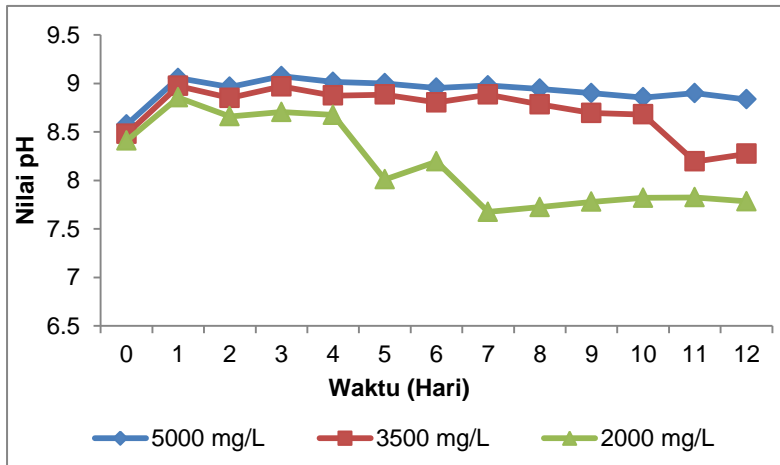
Nilai pH pada setiap durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Gambar 4. 20 sampai Gambar 4.22.



Gambar 4. 20 Nilai pH pada MBBR pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam



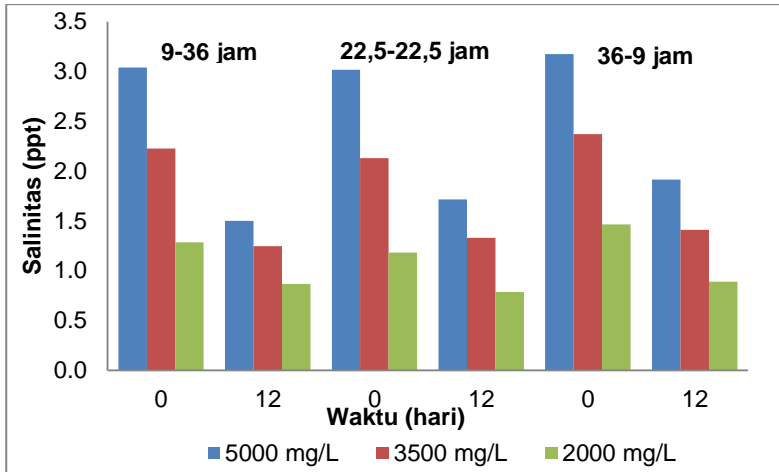
Gambar 4. 21 Nilai pH pada MBBR pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam



Gambar 4. 22 Nilai pH pada MBBR pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

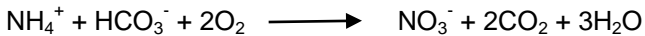
4.3.9 Analisis Salinitas

Salinitas merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Pengukuran salinitas dilakukan pada awal siklus (hari ke-0) dan akhir siklus (hari ke-12). Pengukuran salinitas dengan menggunakan *pH onlab-EC 10*. Nilai salinitas di semua durasi proses aerobik-anoksik menunjukkan nilai yang hampir sama untuk setiap reaktor, dimana semakin tinggi konsentrasi lindi maka salinitas akan semakin tinggi. Hasil pengukuran salinitas pada setiap reaktor yaitu berkisar antara 0,87-3,04 ppt untuk durasi proses aerobik-anoksik 9-36 jam, sedangkan untuk durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam yaitu 0,79-3,02 ppt, dan untuk durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam berkisar antara 0,89-3,18 ppt. Nilai salinitas tersebut masih tergolong kondisi yang termasuk kondisi air tawar (Gufhran, 2007). Hasil pengukuran salinitas untuk semua durasi proses dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Nilai Salinitas pada Setiap Durasi Proses Aerobik-Anoksik

Berdasarkan Gambar 4.23 terjadi penurunan nilai salinitas untuk setiap konsentrasi COD lindi pada semua durasi proses aerobik-anoksik. Penurunan ini disebabkan karena berkurangnya jumlah dari ion-ion yang mempengaruhi salinitas, karena nilai salinitas dipengaruhi oleh ion-ion tertentu seperti klorida, karbonat, bikarbonat, sulfat, natrium, kalsium, dan magnesium (Mangkoedihardjo, 2005). Karena salah satu ion yang mempengaruhi salinitas adalah bikarbonat, penurunan salinitas juga dapat disebabkan oleh proses nitrifikasi, sesuai dengan reaksi berikut :



Reaksi di atas menunjukkan bahwa pada nitrifikasi setiap gram ammonia-nitrogen yang dikonversi, dibutuhkan 7,14 gram CaCO_3 (Metcalf and Eddy, 2003). Oleh karena itu penurunan konsentrasi amonium juga dapat menurunkan nilai salinitas.

4.4 Penentuan Pengaruh Durasi Proses Aerobik-Anoksik Terhadap Parameter Organik dan Nitrogen

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan metode statistika untuk mengetahui pengaruh antara lamanya durasi proses aerobik-anoksik terhadap parameter organik (parameter COD), nitrogen (parameter ammonia-nitrogen, nitrat-nitrogen, dan total nitrogen), rasio F/M dan rasio BOD/COD. Ada dua tahapan untuk menentukan parameter yang paling berpengaruh. Tahap pertama yaitu menentukan parameter apa saja yang berpengaruh terhadap durasi proses aerobik-anoksik. Setelah diketahui parameter yang berpengaruh kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu menentukan pengaruh dari durasi proses aerobik-anoksik terhadap parameter yang berpengaruh tersebut.

Tahap pertama yang dilakukan yaitu dengan menggunakan uji ANOVA (*Analysis of Variance*) yang bertujuan untuk mengetahui apakah variasi durasi proses aerobik-anoksik berpengaruh terhadap parameter yang digunakan. Uji ANOVA dilakukan dengan menggunakan *one-way* ANOVA. Program yang digunakan untuk uji ANOVA ini yaitu *software* SPSS 16 dengan tingkat signifikansi (α) 95%. Adapun hipotesis uji ANOVA yang dilakukan seperti berikut:

Hipotesis:

$$H_0 : t_1 = t_2 = t_3 = 0$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } t_i \neq 0$$

$$\alpha = 0,05.$$

Hasil *running* dengan menggunakan program SPSS dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Uji ANOVA dengan Program SPSS 16

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	1618.288	2	809.144	28.221	.001
	Within Groups	172.030	6	28.672		

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Total	1790.318	8			
NH ₄	Between Groups	662.246	2	331.123	1.909	.228
	Within Groups	1040.877	6	173.479		
	Total	1703.123	8			
NH ₄ aerobik	Between Groups	1152.998	2	576.499	17.818	.003
	Within Groups	194.127	6	32.354		
	Total	1347.125	8			
NH ₄ anoksik	Between Groups	1849.519	2	924.759	9.005	.016
	Within Groups	616.163	6	102.694		
	Total	2465.682	8			
NH ₃	Between Groups	846.738	2	423.369	114.778	.000
	Within Groups	22.131	6	3.689		
	Total	868.870	8			
NH ₃ aerobik	Between Groups	258.302	2	129.151	118.907	.000
	Within Groups	6.517	6	1.086		

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Total	264.819	8			
NH ₃ anoksik	Between Groups	2458.083	2	1229.042	36.900	.000
	Within Groups	199.842	6	33.307		
	Total	2657.925	8			
TN	Between Groups	410.002	2	205.001	3.290	.109
	Within Groups	373.915	6	62.319		
	Total	783.917	8			
BOD/COD	Between Groups	679.503	2	339.752	1.330	.333
	Within Groups	1533.001	6	255.500		
	Total	2212.505	8			
F/M	Between Groups	1732.941	2	866.471	2.193	.193
	Within Groups	2370.963	6	395.161		
	Total	4103.904	8			

Berdasarkan hasil *output* SPSS 16, maka dapat diketahui bahwa hanya nilai parameter COD, amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen yang berpengaruh signifikan terhadap durasi proses aerobik-anoksik. Hal ini dapat dilihat dari nilai signifikansi hasil

analisis ANOVA yang berada pada nilai $\leq 0,05$. Selanjutnya melihat apakah durasi proses aerobik-anoksik berpengaruh terhadap parameter COD, amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen dengan menggunakan uji Tukey. Uji Tukey dilakukan dengan cara membandingkan setiap durasi proses aerobi-anoksik. Adapun hipotesis dari Uji Tukey adalah sebagai berikut:

Hipotesis:

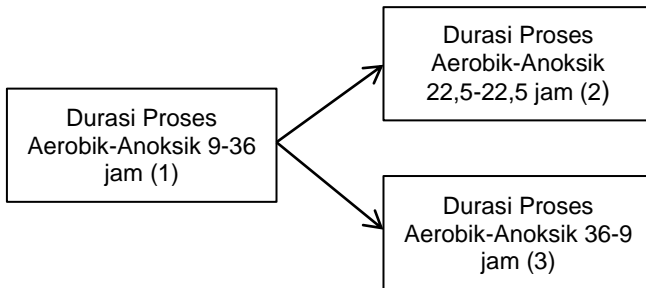
$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \beta_i \neq 0$$

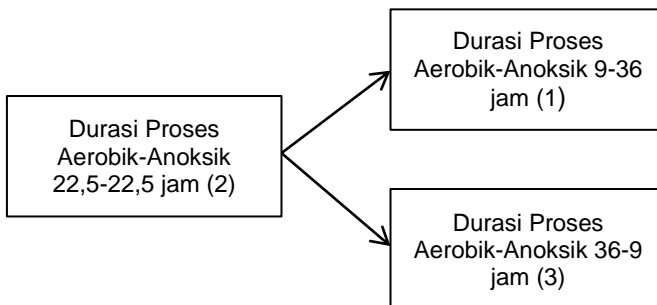
$$\alpha = 0,05.$$

Skema perbandingan durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Gambar 4.24, sedangkan hasil analisis uji Tukey dapat dilihat pada Tabel 4.7.

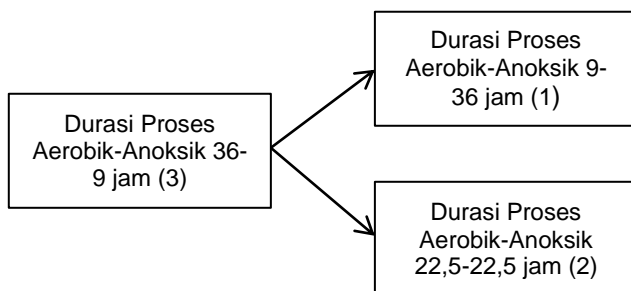
1. Konsentrasi COD lindi 5000 mg/L



2. Konsentrasi COD lindi 3500 mg/L



3. Konsentrasi COD lindi 2000 mg/L



Gambar 4. 24 Skema Perbandingan Durasi Proses Aerobik-Anoksik

Tabel 4. 7 Hasil Uji Tukey Durasi Proses Aerobik-Anoksik dengan Program SPSS 16

Dependent Variable	(I) HRT Aerobik Anoksik	(J) HRT Aerobik Anoksik	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
						COD	1
		3	-32.35667*	4.37201	.001	-45.7712	-18.9421
	2	1	11.28667	4.37201	.092	-2.1279	24.7012
		3	-21.07000*	4.37201	.007	-34.4845	-7.6555
	3	1	32.35667*	4.37201	.001	18.9421	45.7712
		2	21.07000*	4.37201	.007	7.6555	34.4845
NH ₄	1	2	-19.68667	10.75421	.239	-52.6835	13.3102
		3	-3.48333	10.75421	.944	-36.4802	29.5135
	2	1	19.68667	10.75421	.239	-13.3102	52.6835
		3	16.20333	10.75421	.353	-16.7935	49.2002

Dependent Variable	(I) HRT	(J) HRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
	Aerobik	Aerobik				Lower Bound	Upper Bound
	Anoksik	Anoksik					
NH ₄ aerobik	3	1	3.48333	10.75421	.944	-29.5135	36.4802
		2	-16.20333	10.75421	.353	-49.2002	16.7935
	1	2	-9.18333	4.64431	.199	-23.4334	5.0667
		3	-27.24667 [*]	4.64431	.003	-41.4967	-12.9966
	2	1	9.18333	4.64431	.199	-5.0667	23.4334
		3	-18.06333 [*]	4.64431	.019	-32.3134	-3.8133
3	1	27.24667 [*]	4.64431	.003	12.9966	41.4967	
	2	18.06333 [*]	4.64431	.019	3.8133	32.3134	
NH ₄ anoksik	1	2	-10.50667	8.27421	.460	-35.8942	14.8809
		3	23.76333	8.27421	.064	-1.6242	49.1509
	2	1	10.50667	8.27421	.460	-14.8809	35.8942
		3	34.27000 [*]	8.27421	.014	8.8825	59.6575
	3	1	-23.76333	8.27421	.064	-49.1509	1.6242
		2	-34.27000 [*]	8.27421	.014	-59.6575	-8.8825
NH ₃	1	2	-21.11000 [*]	1.56814	.000	-25.9215	-16.2985
		3	-1.11333	1.56814	.767	-5.9248	3.6981
	2	1	21.11000 [*]	1.56814	.000	16.2985	25.9215
		3	19.99667 [*]	1.56814	.000	15.1852	24.8081
	3	1	1.11333	1.56814	.767	-3.6981	5.9248
		2	-19.99667 [*]	1.56814	.000	-24.8081	-15.1852
NH ₃ aerobik	1	2	-9.48333 [*]	.85094	.000	-12.0943	-6.8724
		3	3.11333 [*]	.85094	.025	.5024	5.7243

Dependent Variable	(I) HRT	(J) HRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
	Aerobik	Aerobik				Lower Bound	Upper Bound
	-	-					
	Anoksik	Anoksik					
	2	1	9.48333*	.85094	.000	6.8724	12.0943
		3	12.59667*	.85094	.000	9.9857	15.2076
	3	1	-3.11333*	.85094	.025	-5.7243	-.5024
		2	-12.59667*	.85094	.000	-15.2076	-9.9857
NH ₃ anoksik	1	2	-29.00000*	4.71219	.002	-43.4583	-14.5417
		3	9.96000	4.71219	.167	-4.4983	24.4183
	2	1	29.00000*	4.71219	.002	14.5417	43.4583
		3	38.96000*	4.71219	.000	24.5017	53.4183
	3	1	-9.96000	4.71219	.167	-24.4183	4.4983
		2	-38.96000*	4.71219	.000	-53.4183	-24.5017
TN	1	2	-15.67000	6.44563	.111	-35.4470	4.1070
		3	-12.40000	6.44563	.212	-32.1770	7.3770
	2	1	15.67000	6.44563	.111	-4.1070	35.4470
		3	3.27000	6.44563	.871	-16.5070	23.0470
	3	1	12.40000	6.44563	.212	-7.3770	32.1770
		2	-3.27000	6.44563	.871	-23.0470	16.5070
BOD/COD	1	2	.92333	13.05119	.997	-39.1213	40.9680
		3	18.87667	13.05119	.378	-21.1680	58.9213
	2	1	-.92333	13.05119	.997	-40.9680	39.1213
		3	17.95333	13.05119	.410	-22.0913	57.9980
	3	1	-18.87667	13.05119	.378	-58.9213	21.1680

Dependent Variable	(I) HRT	(J) HRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
	Aerobik	Aerobik				Lower Bound	Upper Bound
	Anoksik	Anoksik					
		2	-17.95333	13.05119	.410	-57.9980	22.0913
F/M	1	2	32.44000	16.23085	.193	-17.3607	82.2407
		3	7.43333	16.23085	.893	-42.3674	57.2340
		2	-32.44000	16.23085	.193	-82.2407	17.3607
	3	1	-25.00667	16.23085	.339	-74.8074	24.7940
		2	-7.43333	16.23085	.893	-57.2340	42.3674
		3	25.00667	16.23085	.339	-24.7940	74.8074

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Berdasarkan hasil *running* program SPSS 16 menunjukkan bahwa parameter COD, amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen berpengaruh terhadap durasi proses aerobik-anoksik. Hal ini ditunjukkan dari nilai signifikansi yang $<0,05$ (Tabel 4.7).

4.5 Ringkasan Kinerja MBBR

Pengolahan lindi dengan proses aerobik-anoksik menggunakan MBBR, menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam menurunkan konsentrasi COD dan nitrogen dengan konsentrasi COD lindi 2000 mg/L hingga 5000 mg/L. Penurunan konsentrasi COD paling baik terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam dengan removal COD mencapai 78,78% pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L.

Namun, removal total nitrogen paling optimum terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam, yaitu mencapai 35,24% pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L. Selain itu, penurunan konsentrasi amonium dan nitrat juga paling baik pada durasi proses ini, dimana removal amonium mencapai 61,04% dan nitrat mencapai 28,79% untuk konsentrasi COD lindi 2000 mg/L. Pada durasi proses ini setiap reaktor mampu mempertahankan rasio F/M, hal ini ditunjukkan dengan penurunan rasio F/M yang paling rendah jika dibandingkan dengan dua durasi proses lainnya. Selain itu pada durasi ini nilai pH lebih stabil untuk setiap reaktor. Sehingga durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam merupakan durasi proses yang paling optimum pada pengolahan lindi dengan MBBR.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Analisis dan pembahasan pada penelitian pengolahan lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) pada proses aerobik-anoksik menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. MBBR optimum dalam mengoksidasi zat organik dan nitrogen pada konsentrasi COD lindi 2000 mg/L dengan efisiensi removal COD mencapai 78,78% pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam dan removal total nitrogen, amonium, dan nitrat sebesar 35,24%, 61,04%, dan 28,79% pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam.
2. Variasi durasi proses aerobik-anoksik memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter COD, ammonia-nitrogen dan nitrat-nitrogen di dalam pengolahan lindi menggunakan MBBR yang ditunjukkan melalui hasil analisis Anova ($P \leq 0,05$).

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dan kekurangan yang ada pada penelitian ini, diperlukan adanya saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya mengenai pengolahan lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) pada proses aerobik-anoksik. Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat diberikan:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan proses anaerobik terlebih dahulu sebelum proses aerobik untuk menurunkan konsentrasi amonium lindi yang tinggi, karena pada proses anaerobik amonium akan dioksidasi menjadi N_2 gas melalui proses anammox (*anaerobic ammonia oxidation*) sehingga saat proses aerobik rasio C/N optimum dapat dicapai dan penurunan konsentrasi organik lebih optimum.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan reaktor kontrol, yaitu tanpa menggunakan media untuk mengetahui kemampuan media dalam MBBR.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Åkerman, A. 2005. *Feasibility of nitrate-shunt (nitrification) on landfill leachate*. Sweden: Department of Water and Environmental Engineering Lunds Institute of Technology University of Lund.
- Alexander, M. 1994. *Biodegradation and Bioremediation*. United States of America: Academic Press, Inc.
- Aljumriana. 2015. *Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Pada Proses Aerobik-Anoksik*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Bassin, J. P., Dias, I. N., Cao, S. M. S., Senra, E., Laranjeira, Y., Dezotti, M. 2016. Effect of increasing organic loading rates on the performance of moving-bed biofilm reactors filled with different support media: Assessing the activity of suspended and attached biomass fractions. *Process Safety and Environmental Protection*, 100, 131–141.
- Bohdziewicz, J., Neczaj, E., Kwarciak, A. 2008. Landfill leachate treatment by means of anaerobic membrane bioreactor. *European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort 22 –25 April 2007, Halkidiki, Greece* *European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort*, 221(1–3), 559–565.
- Bokar, R. ., Gulhane, M. ., Kotangale, A. . 2013. Moving Bed Biofilm Reactor – A New Perspective in Wastewater Treatment. *Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, 6(6), 15–21.
- Chen, S., Sun, D., Chung, J.-S. 2008. Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic–aerobic moving-bed biofilm reactor system. *Waste Management*, 28(2), 339–346.
- Dahai Yu, Jiyu Yang, Fei Teng, Lili Feng, Xuexun Fang, Hejun Ren. 2014. Bioaugmentation Treatment of Mature Landfill Leachate by New Isolated Ammonia Nitrogen and Humic Acid Resistant Microorganism. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(7), 987–997.
- Damanhuri, E. 2008. *Diktat Landfilling Limbah*. Bandung: Teknik Lingkungan FTSL ITB.

- Damanhuri, E., Padmi, T. 2010. *Pengelolaan Sampah*. Bandung: Teknik Lingkungan FTSL ITB.
- Dong, Z., Lu, M., Huang, W., Xu, X. 2011. Treatment of Oilfield Wastewater in Moving Bed Biofilm Reactors Using a Novel Suspended Ceramic Biocarrier. *Journal of Hazardous Materials*, 196(2011), 123–130.
- Eldyasti, A., Chowdhury, N., Nakhla, G., Zhu, J. 2010. Biological nutrient removal from leachate using a pilot liquid–solid circulating fluidized bed bioreactor (LSCFB). *Journal of Hazardous Materials*, 181(1–3), 289–297.
- Gracia, J., Mujeriego, R., Marine, M. . 2006. Long Term Diurnal Variations in Contaminant Removal in High Rate Pond Treating Urban Wastewater. *Bioresource Technology*, 97(2006), 1709–1715.
- Greenberg, A. E., Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W. 2005. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater: 21th Edition*. Washington DC: American Public Health Association Publisher.
- Gufhran. 2007. *Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan*. Jakarta: Renika Cipta.
- Hadiwidodo, M., Oktiawan, W., Primadani, A., Parasmita, B., Gunawan, I. 2012. Pengolahan air lindi dengan proses kombinasi biofilter anaerob-aerob dan wetland. *Jurnal Presipitasi*, 9(2), 84–95.
- Herlambang, A., Marsidi, R. 2003. Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 46–55.
- Hopper, T. 2008. *Wastewater Treatment Plant Southwestern Energy Operations Center*. Damascus: Crafton, Tull, Sparks & Associates, Inc.
- Igarashi, T., Watanabe, Y., Asano, T., Tambo, N. 1999. *Water Environmental Engineering and Reuse of Water*. Japan: Hokkaido Press.
- Indriani, T. 2010. *Studi Efisiensi Paket Pengolahan Grey Water Model Kombinasi ABR-Anaerobic Filter*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Jusepa, N. R. 2016. *Kemampuan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Anaerobik-Aerobik-Anoksik*

- untuk Menurunkan Konsentrasi Organik dan Nitrogen. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir*.
- Kermani, M., Bina, B., Movahedian, H., Amin, M., Nikaen, M. 2008. Application of Moving Bed Biofilm Process for Biological Organics and Nutrients Removal from Municipal Wastewater. *Science Publications*, 4(6), 682–689.
- Kulikowsaka, D., Kaczówka, E., Pokój, T., Gusiatin, Z. 2009. Application of moving bed biofilm reactor (MBBR) for high-ammonium landfill leachate nitrification. *New Biotechnology*, 25, 351–352.
- Mangkoedihardjo, S. 2005. *Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Wilayah Pesisir dan Laut*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Metcalf, Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4th ed.). New York: Mc Graw Hill.
- Miao, L., Wang, K., Wang, S., Zhu, R., Li, B., Peng, Y., Weng, D. 2014. Advanced nitrogen removal from landfill leachate using real-time controlled three-stage sequence batch reactor (SBR) system. *Bioresource Technology*, 159, 258–265.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: ITB.
- Qaderi, F., Ayati, B., Ganjidoust, H. 2011. Role of Moving Bed Biofilm Reactor and Squencing Batch Reactor in Biological Degradation of Formaldehyde Wastewater. *Journal Environment Health Science*, 8(4), 295–306.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P. 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493.
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., Lygren, E. 2006. Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm

- reactors. *Design and Selection of Biological Filters for Freshwater and Marine Applications*, 34(3), 322–331.
- Shammas, N. K. 1986. Interactions of Temperature, pH, and Biomass on the Nitrification Process. *Journal Water Pollution Control Federation*, 58(1), 52–59.
- Shewfelt, K., Hung, L., Richard, G. Z. 2005. Optimization of Nitrogen for Bioventing of Gasoline Contaminated Soil. *Journal of Environmental Engineering Science*, 4(2005), 29–42.
- Suganda, R., Sutrisno, E., Wardana, I. W. 2014. Penurunan Konsentrasi Amonia, Nitrat, Nitrit dan COD dalam Limbah Cair Tahu dengan Menggunakan Biofilm–Kolam (Pond) Media Pipa CODC Sarang Tawon dan Tempurung Kelapa Disertai Penambahan Ecotru. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(2014), 58–86.
- Sun, H., Zhao, H., Bai, B., Chen, Y., Yang, Q., Peng, Y. (n.d.). Advanced removal of organic and nitrogen from ammonium-rich landfill leachate using an anaerobic-aerobic system. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, (0). Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1004954115000701>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. New York: Mc Graw Hill.
- Titiresmi, Nida Sopiah. 2006. Teknologi Biofilter untuk Pengolahan Limbah Ammonia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(2), 173–179.
- Zhuang, H., Han, H., Jia, S., Zhao, Q., Hou, B. 2014. Advanced Treatment of Biologically Pretreated Coal Gasification Wastewater Using A Novel Anoxic Moving Bed Biofilm Reactor (ANMBBR)-Biological Aerated Filter (BAF) System. *Bioresource Technology*, 157, 223–230.

LAMPIRAN 1

PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI DAN PROSEDUR ANALISIS

A. Analisis Nitrat-nitrogen

1. Pembuatan Reagen

a. Brucine Asetat 0,5%

Larutkan 0,5 gram serbuk brucine dengan 100 mL acetic acid glacial (CH_3COOH) di dalam labu pengencer 100 mL, kocok hingga larut sempurna.

b. H_2SO_4 pekat

c. Larutan Standar Nitrat (100 ppm atau 100 mg/L)

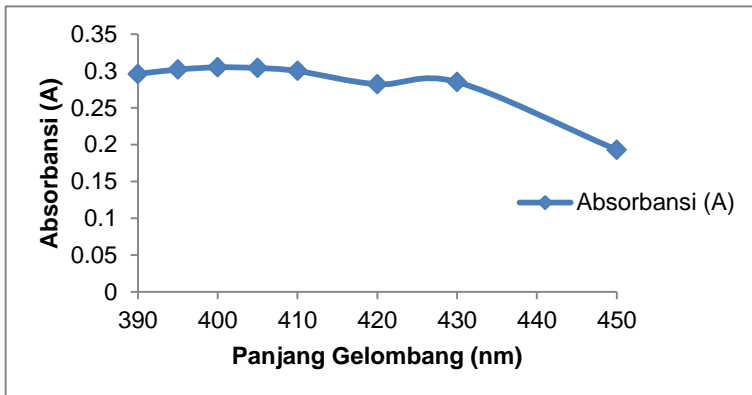
Timbang dengan teliti 721,8 mg KNO_3 kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L.

2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrat-nitrogen.

a. Penentuan Panjang Gelombang analisis Nitrat-Nitrogen

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
390	0.296
395	0.302
400	0.305
405	0.304
410	0.300
420	0.282
430	0.285
450	0.193

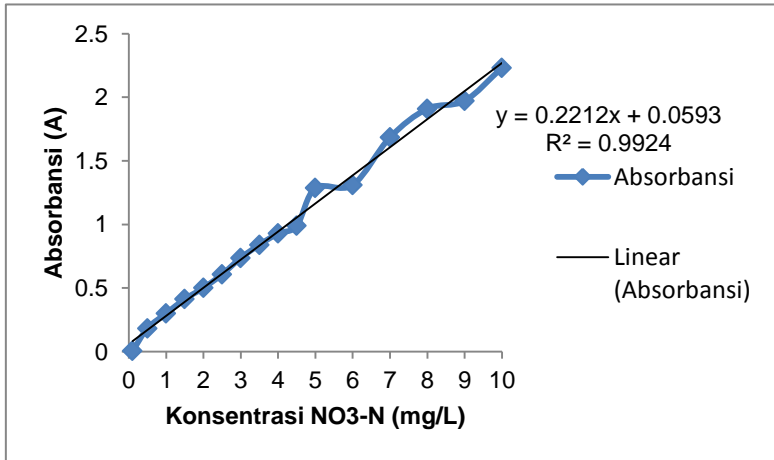


b. Kurva Kalibrasi Analisis Nitrat-Nitrogen

Digunakan panjang gelombang 400 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0.1	0.005
0.5	0.183
1	0.3
1.5	0.413
2	0.501
2.5	0.607
3	0.737
3.5	0.84
4	0.929
4.5	0.989
5	1.287
6	1.31
7	1.685
8	1.91

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
9	1.972
10	2.232



3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar nitratnya.
- Diambil 2 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 2 mL larutan brucin asetat
- Ditambahkan 4 mL larutan H_2SO_4 pekat
- Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer
- Blanko yang digunakan adalah larutan sampel (tanpa reagen)

B. Analisis Amonium-nitrogen

1. Pembuatan Reagen

a. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang

sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatnya.

b. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na.Tatrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

c. Larutan Standar Amonium (100 ppm atau 100 mg/L)

Timbang dengan teliti 382,14 mg NH_4Cl kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. Ditambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrat-nitrogen.

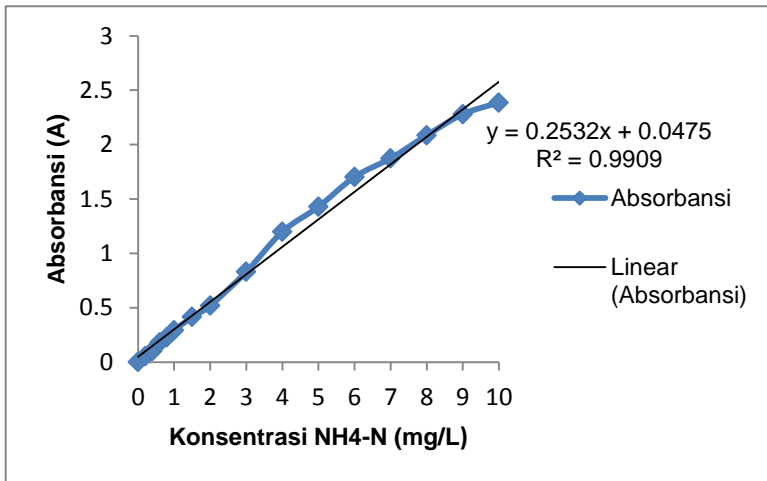
a. Penentuan Panjang Gelombang analisis Amonium-Nitrogen

Panjang gelombang	Absorbansi
382	0.289
383	0.300
384	0.302
385	0.307
386	0.299
387	0.296
388	0.293
389	0.288
390	0.283
400	0.250
410	0.221

b. Kurva Kalibrasi Analisis Amonium-Nitrogen

Digunakan panjang gelombang 385 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0	0
0.2	0.053
0.4	0.1
0.6	0.179
0.8	0.226
1	0.292
1.5	0.414
2	0.519
3	0.831
4	1.199
5	1.428
6	1.703
7	1.874
8	2.085
9	2.28
10	2.386



3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar ammonianya.
- Diambil 25 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat)
- Ditambahkan 1 mL larutan nessler
- Ditambahkan 1,25 mL larutan garam signet
- Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer
- Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel.

C. Analisis COD (Chemical Oxygen Demand)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N

Timbang dengan teliti 4,9036 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.

b. Larutan Ferro Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N

Timbang dengan teliti 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ kemudian tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

c. Larutan Campuran Asam ($AgSO_4$)

Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 ke dalam 1 L H_2SO_4 hingga larut sempurna.

d. Larutan Indikator Ferroin

Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

2. Prosedur Analisis

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* metode titimetri berdasarkan (Greenberg *et al.*, 2005), seperti berikut:

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
- Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
- Disiapkan 2 buah tabung COD, kemudian dimasukkan sampel yang telah diencerkan sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blanko.

- Larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
- Larutan campuran asam (Ag_2SO_4) ditambahkan sebanyak 3,5 mL.
- Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
- Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- Ditambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes.
- Sampel di dalam tabung COD dipindahkan ke dalam Erlenmeyer kemudian dititrasi menggunakan larutan standar FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
- Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$COD \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{Vol.sampel} \times p$$

dengan:

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

D. Analisis BOD (Biochemical Oxygen Demand)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan Buffer Fospat

Campur dan larutkan KH_2PO_4 0,85 gram, K_2HPO_4 0,2175 gram, $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ 0,334 gram dan NH_4Cl 0,17 gram ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

b. Larutan $MgSO_4$

Larutkan 0,225 gram $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

c. Larutan $CaCl_2$

Larutkan 0,275 gram $CaCl_2$ ke dalam 100mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

d. Larutan $FeCl_3$

Larutkan 0,025 gram $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

Untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan Buffer Fosfat, $MgSO_4$, larutan $CaCl_2$, larutan $FeCl_3$ dan larutan bakteri. Larutan bakteri dapat dibuat dengan mengaerasi 1 spatula (10 gram) tanah subur ke dalam air selama 2 jam.

e. Larutan $MnCl_2$ 20%

Larutkan 20 gram $MnCl_2$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

f. Larutan Pereaksi Oksigen

Campur dan larutkan 40 gram NaOH, 15 gram KI dan 2 gram NaN_3 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

g. Larutan Indikator Amilum 1%

Larutkan 1 gram amilum dengan 100 mL aquades yang sudah dididihkandi dalam labu pengencer 100 mL dan ditambahkan sedikit HgI_2 sebagai pengawet.

h. Larutan Thiosulfat 0,01 N

Larutkan 24,82 gram $Na_2S_2O_3$ ke dalam 1 L aquades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1 L. Kemudian ditambahkan dengan 1 gram NaOH sebagai buffer.

i. H_2SO_4 pekat

2. Prosedur Analisis

Metode analisis BOD dilakukan dengan menggunakan prinsip winklermetode titimetrik berdasarkan Greenberg *et al.* (2005), seperti berikut:

- Untuk menentukan angka pengencerannya maka dibutuhkan angka $KMNO_4$:

$$P = \frac{\text{Angka } KMNO_4}{3 \text{ atau } 5 \text{ (tergantung dari pH sampel)}}$$

- Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer hingga batas labu.
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
- Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.

- Tuangkan air pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastik wrap agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol tersebut ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan MnCl₂.
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama ± 10 menit.
 - Tambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat, tutup dan kocok kembali.
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam Erlenmeyer 250 mL
 - Tambahkan 3 tetes indikator amilum.
 - Titrasi dengan larutan Natrium Thiosulfat 0.0125 N sampai warna biru hilang.
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam winkler 300 mL seperti analisis oksigen terlarut.
- Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)]}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Dimana:

X₀ = oksigen terlarut sampel pada t = 0

X₅ = oksigen terlarut sampel pada t = 5

B₀ = oksigen terlarut blanko pada t = 0

B₅ = oksigen terlarut blanko pada t = 5

P = derajat pengenceran

a = volume titran (mL)

N = Normalitas Natrium Thiosulfat

E. Analisis MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)

Teknik analisis MLSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis TSS pada Greenberg *et al.* (2005) seperti berikut:

- Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Disiapkan kertas saring dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
- Kertas saring dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang bersamaan dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg), dan hasil penimbangan kertas saring dicatat sebagai b (mg).
- Kertas saring yang telah ditimbang, diletakkan pada vacuum filter.
- Sampel disaring dengan menggunakan vacuum filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang. Sampel disaring hingga kering. Dicitat volume sampel yang disaring sebagai c (mL).
- Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 6 kemudian diletakkan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 4.
- Cawan yang berisi kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
- Cawan yang berisi kertas saring dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan yang berisi kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg).
- Dilakukan perhitungan jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{d(a+b)}{c} \times 1000 \times 1000$$

F. Analisis MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)

Teknik analisis MLVSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis

VSS pada Greenberg *et al.* (2005). Analisis MLVSS ini merupakan lanjutan dari hasil analisis MLSS seperti berikut:

- Cawan yang berisis kertas saring, yang mengandung residu dari hasil analisis MLSS dimasukkan ke dalam *furnace* dengan suhu 550°C selama 1 jam.
- Setelah di *furnace*, cawan dan kertas saring dipindahkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Cawan yang berisi kertas saring kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai *e* (mg).

- Dihitung jumlah zat padat tersuspensi organik (VSS) dalam sampel dengan rumus:

$$FSS \text{ (mg/L)} = \frac{(e - a)}{c} \times 1000 \times 1000$$

$$VSS \text{ (mg/L)} = TSS - FSS$$

G. Analisis Salinitas

Analisis salinitas menggunakan pH onlab dengan bacaan digital. Prosedur analisis menggunakan modifikasi dari Greenberg *et al.* (2005) sebagai berikut:

- pH *onlab* disetting untuk mengukur salinitas dengan menekan *enter/mode* hingga pada layar muncul tulisan “sal”. Kemudian distandarisasi menggunakan larutan buffer pH 7. Standarisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH *onlab* ke dalam larutan buffer.
- Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
- Dichelupkan probe pH *onlab* ke dalam sampel yang diukur nilai salinitasnya.
- Dibaca nilai salinitas sampel pada monitor pembaca.

H. Analisis pH

Analisis pH menggunakan pH meter dengan bacaan digital. Prosedur analisis menggunakan modifikasi dari Greenberg *et al.* (2005) sebagai berikut:

- pH meter distandarisasi menggunakan larutan buffer pH pada pH 4, 7, dan 10. Standarisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH meter bergantian ke dalam larutan buffer dengan urutan: buffer pH 4 → buffer pH 7 → buffer pH 10 → buffer pH 7.
- Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
- Dichelupkan probe pH meter ke dalam sampel yang diukur nilai pH nya.
- Dibaca nilai pH sampel pada monitor pembaca.

I. Analisis Dissolved Oxygen (DO)

Analisis DO menggunakan DO meter dengan bacaan digital.

Prosedur analisis sebagai berikut:

- Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam *beaker glass*.
- Dichelupkan probe DO meter ke dalam sampel yang diukur nilai DO nya.
- Dibaca nilai DO sampel pada monitor pembaca.

LAMPIRAN 2 DATA HASIL ANALISIS LABORATORIUM

A. Konsentrasi COD

1. Durasi Proses Aerobik Anoksik 9-36 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi COD (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	3456	5544	4640	4960	4992	4334	4255	3310	4430	4077	3606	4234	3780
5000 (3)	4176	5616	5040	4680	4953	4452	4216	3782	4704	3842	3998	4390	3960
3500 (2)	2808	3816	3440	3520	3666	3191	3310	2916	3606	2979	2666	2979	2376
3500 (3)	3024	4680	3520	3440	4017	3310	3191	2758	3528	3450	2862	3450	2772
2000 (2)	1728	2736	2480	2520	2067	2561	2443	2167	2744	2587	2509	2862	1908
2000 (3)	1944	3672	3040	2640	3471	2837	2403	2088	2979	2274	2587	1999	2088

2. Durasi Proses 22,5-22,5 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi COD (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	6552	2448	4160	3640	3471	4058	3625	3270	3646	3175	3410	3175	3175
5000 (3)	4968	2664	4360	4200	4797	4334	4334	3585	4038	3214	3881	3646	2548
3500 (2)	4680	1620	3640	3120	4485	3349	2955	2719	2509	2313	3097	2940	3763
3500 (3)	4608	3024	3680	3480	4095	3782	4255	2797	3959	2430	3058	3254	2274
2000 (2)	2448	216	2080	1840	2145	2009	1340	827	1490	588	1607	1333	1098
2000 (3)	2088	2124	2160	2160	2262	2167	1970	1852	1725	1686	1333	1450	1058

3. Konsentrasi COD Durasi 36-9 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi COD (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	3606	3214	3881	3571	3763	3489	3450	3332	3528	3332	2666	1333	902
5000 (3)	3450	3332	2783	3571	3725	3450	3646	3214	3528	3175	2862	1411	510
3500 (2)	1803	2078	2117	2342	2765	2117	2352	2156	2587	1999	2156	353	235
3500 (3)	2979	2156	3018	2611	3149	2548	2548	2313	2705	2430	2274	902	1372
2000 (2)	1725	1137	2195	1382	1805	1176	1529	1254	1960	1019	1098	314	157
2000 (3)	2509	1529	1646	1574	2074	1411	1646	1333	1764	1254	1411	431	274

B. Konsentrasi Amonium

1. Durasi Proses 9-36 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi Amonium (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	696,2	755,9	663,8	498,5	466,1	455,4	425,2	298,6	359,0	302,9	308,7	245,4	322,4
5000 (3)	680,4	719,2	648,0	495,6	428,0	436,7	352,6	297,2	353,3	285,7	307,3	200,9	310,1
3500 (2)	445,3	469,0	441,0	347,5	278,5	295,0	262,7	194,4	221,0	198,7	209,5	109,6	187,2
3500 (3)	461,8	504,2	400,7	361,9	294,3	305,8	251,9	193,7	236,1	194,4	202,3	165,6	200,9
2000 (2)	267,0	344,6	359,0	257,7	243,3	256,2	246,2	148,4	213,8	213,1	219,6	182,2	235,4
2000 (3)	247,6	366,9	341,0	281,4	246,9	238,2	226,0	178,6	224,6	203,0	224,6	197,3	231,1

2. Durasi Proses 22,5-22,5 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi Amonium (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	640,1	568,9	478,4	352,6	288,6	325,2	277,8	218,1	241,8	215,2	221,0	143,4	208,8
5000 (3)	567,5	526,5	484,8	326,7	340,3	330,3	251,9	219,6	251,9	206,6	208,1	126,1	169,9
3500 (2)	448,2	438,1	361,2	322,4	345,4	279,2	264,1	233,2	277,8	190,8	231,8	157,0	218,1
3500 (3)	446,7	504,2	358,3	323,1	345,4	326,7	268,4	231,8	262,0	167,8	244,0	149,8	228,2
2000 (2)	240,4	327,4	246,9	185,8	131,1	207,3	139,0	146,9	162,8	118,2	141,9	80,8	88,0
2000 (3)	236,1	298,6	227,5	186,5	168,5	187,2	144,8	118,9	173,5	129,0	133,3	75,8	127,5

3. Durasi Proses 36-9 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi Amonium (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	640,1	568,9	478,4	352,6	288,6	325,2	277,8	218,1	241,8	215,2	221,0	143,4	208,8
5000 (3)	567,5	526,5	484,8	326,7	340,3	330,3	251,9	219,6	251,9	206,6	208,1	126,1	169,9
3500 (2)	448,2	438,1	361,2	322,4	345,4	279,2	264,1	233,2	277,8	190,8	231,8	157,0	218,1
3500 (3)	446,7	504,2	358,3	323,1	345,4	326,7	268,4	231,8	262,0	167,8	244,0	149,8	228,2
2000 (2)	240,4	327,4	246,9	185,8	131,1	207,3	139,0	146,9	162,8	118,2	141,9	80,8	88,0
2000 (3)	236,1	298,6	227,5	186,5	168,5	187,2	144,8	118,9	173,5	129,0	133,3	75,8	127,5

C. Konsentrasi Nitrat

1. Durasi Proses 9-36 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi Nitrat (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	29,9	81,0	88,1	89,5	81,0	68,2	100,8	89,5	89,2	91,9	86,5	101,4	102,8
5000 (3)	25,6	68,2	72,5	82,4	88,1	55,5	88,1	90,9	87,8	91,9	87,8	100,1	93,3
3500 (2)	39,8	73,9	98,0	109,3	75,3	66,8	102,2	103,6	98,7	100,1	96,0	100,1	109,6
3500 (3)	35,5	76,7	93,7	93,7	95,2	75,3	116,4	103,6	94,6	104,1	97,3	108,2	101,4
2000 (2)	46,2	93,7	99,4	88,1	86,7	88,1	93,7	112,1	93,3	97,3	98,7	102,8	101,4
2000 (3)	46,2	92,3	98,0	89,5	95,2	79,6	93,7	112,1	90,6	102,8	93,3	117,7	97,3

2. Durasi Proses 22,5-22,5 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi Nitrat (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	29,9	95,2	79,6	83,8	88,1	130,5	88,1	92,3	89,2	98,7	82,4	102,8	89,2
5000 (3)	31,3	83,8	76,7	98,0	102,2	88,1	83,8	102,2	86,5	94,6	90,6	102,8	90,6
3500 (2)	39,1	86,7	86,7	96,6	92,3	89,5	90,9	110,7	91,9	115,0	96,0	105,5	94,6
3500 (3)	37,7	83,8	72,5	96,6	85,2	88,1	86,7	122,1	90,6	110,9	102,8	109,6	98,7
2000 (2)	51,8	96,6	95,2	115,0	88,1	92,3	105,1	141,9	105,5	113,7	105,5	120,5	120,5
2000 (3)	44,0	106,5	92,3	119,2	102,2	110,7	122,1	129,1	110,9	119,1	108,2	135,4	115,0

3. Durasi Proses 36-9 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi Nitrat (mg/L)												
	0	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	139,5	127,3	117,7	149,0	204,8	202,0	173,5	180,3	176,2	177,6	217,0	176,2	217,0
5000 (3)	121,8	120,5	108,2	149,0	232,0	203,4	196,6	176,2	172,1	172,1	207,5	174,8	168,0
3500 (2)	136,8	128,6	144,9	151,7	191,2	199,3	206,1	183,0	180,3	187,1	226,5	189,8	168,0
3500 (3)	125,9	146,3	117,7	144,9	183,0	202,0	206,1	192,5	184,4	184,4	226,5	187,1	170,8
2000 (2)	134,1	134,1	120,5	155,8	184,4	222,4	222,4	215,6	212,9	189,8	237,4	200,7	183,0
2000 (3)	127,3	135,4	123,2	153,1	210,2	229,2	212,9	214,3	219,7	192,5	230,6	200,7	181,6

D. Konsentrasi Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi TKN (mg/L)					
	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12
5000 mg/L	720	328	581	328	419	288
3500 mg/L	563	288	484	341	367	236
2000 mg/L	524	301	393	288	328	203

E. Konsentrasi BOD

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi BOD ₅ (mg/L)					
	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12
5000 mg/L	1336	624	1258	312	877	177
3500 mg/L	1266	312	1014	218	557	106
2000 mg/L	746	286	531	202	503	50

F. Konsentrasi MLSS

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi MLSS (mg/L)					
	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12
5000 mg/L	6000	2800	5400	1400	4200	1600
3500 mg/L	3700	1400	4800	1600	3800	2000
2000 mg/L	3000	2400	4600	3500	4000	1400

G. Konsentrasi MLVSS

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi MLVSS (mg/L)					
	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12	Hari ke-0	Hari ke-12
5000 mg/L	4500	4500	4100	1100	3900	1000
3500 mg/L	2200	1300	4100	1100	4300	2200
2000 mg/L	2100	2200	4300	3300	4400	1400

H. Konsentrasi DO

1. Durasi Proses 9-36 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi DO (mg/L)											
	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	1,7	0,6	2,4	1,6	2,7	0,6	2,2	0,7	2,4	1,4	3,2	0,7
5000 (3)	2,1	0,5	2,2	1,37	2,8	1,6	2,4	1,3	2,4	1,4	3,2	0,8
3500 (2)	1,9	0,4	1,9	1,15	2,42	1,1	2,7	1,4	2,3	1,3	2,8	0,8
3500 (3)	1,7	0,6	2,4	1,6	2,7	0,6	2,2	0,7	2,4	1,4	3,2	0,7
2000 (2)	2,1	0,5	2,2	1,37	2,8	1,6	2,4	1,3	2,4	1,4	3,2	0,8
2000 (3)	1,9	0,4	1,9	1,15	2,42	1,1	2,7	1,4	2,3	1,3	2,8	0,8

2. Konsentrasi DO Durasi 22,5-22,5 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi DO (mg/L)											
	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	3,1	0,5	2,7	0,6	2,5	0,2	1,9	0,9	2,2	1,2	3,0	1,3
5000 (3)	3,3	0,6	3,0	1,0	2,5	1,2	2,8	1,3	2,4	1,4	3,0	0,9
3500 (2)	2,2	0,7	2,4	1,5	2,2	1,5	2,7	1,6	4,4	1,5	3,1	1,0
3500 (3)	3,1	0,5	2,7	0,6	2,5	0,2	1,9	0,9	2,2	1,2	3,0	1,3
2000 (2)	3,3	0,6	3,0	1,0	2,5	1,2	2,8	1,3	2,4	1,4	3,0	0,9
2000 (3)	2,2	0,7	2,4	1,5	2,2	1,5	2,7	1,6	4,4	1,5	3,1	1,0

3. Konsentrasi DO Durasi 36-9 jam

Konsentrasi COD Lindi	Konsentrasi DO (mg/L)											
	Aerobik 1	Anoksik 1	Aerobik 2	Anoksik 2	Aerobik 3	Anoksik 3	Aerobik 4	Anoksik 4	Aerobik 5	Anoksik 5	Aerobik 6	Anoksik 6
5000 (2)	3,2	1,3	3,5	1,6	4,2	1,5	3,2	1,5	3,5	1,1	3,2	1,2
5000 (3)	2,1	1,2	2,1	1,7	2,7	1,2	2,7	1,5	2,1	1,7	3,0	1,7
3500 (2)	2,8	1,0	2,5	1,7	2,6	1,3	2,9	1,3	3,5	1,4	3,2	1,4
3500 (3)	3,2	1,3	3,5	1,6	4,2	1,5	3,2	1,5	3,5	1,1	3,2	1,2
2000 (2)	2,1	1,2	2,1	1,7	2,7	1,2	2,7	1,5	2,1	1,7	3,0	1,7
2000 (3)	2,8	1,0	2,5	1,7	2,6	1,3	2,9	1,3	3,5	1,4	3,2	1,4

LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI PENELITIAN



Pengambilan sampel lindi



Pengambilan sampel lumpur



Reaktor penelitian



Pengambilan sampel di reaktor



Stok lindi



Stok lumpur



Media Kaldness (K1) awal



Media Kaldness setelah penelitian



Analisis COD



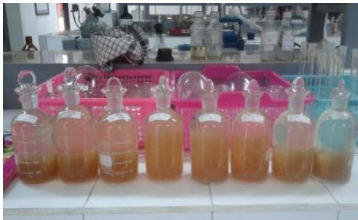
Analisis Nitrat



Analisis Amonium



Analisis MLSS dan MLVSS



Analisis BOD



Analisis pH



Analisis DO



Analisis salinitas

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada 20 Februari 1995 di Padang. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2001-2007 di SDN 03 Padang panjang. Setelah itu, dilanjutkan di MTsN Padang panjang pada tahun 2007-2010 dan SMAN 1 Padang panjang pada tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2013-2017 yang terdaftar dengan NRP 3313 100 091.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf Badan Semi Otonom (BSO) Dana dan Usaha HMTL periode 2014/2015 dan menjadi Kepala Bidang Pengembangan Departemen Kewirausahaan HMTL periode 2015/2016. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS dan aktif sebagai asisten praktikum di beberapa mata kuliah. Penulis dapat dihubungi via email ravikahuda2@gmail.com.

