



TUGAS AKHIR – RE 184804

PENGOLAHAN EFLUEN PROSES FISIK-KIMIA LINDI MENGGUNAKAN MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR) SECARA INTERMITEN

RASHIDA MISALI
0321154000048

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

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR – RE 184804

PENGOLAHAN EFLUEN PROSES FISIK-KIMIA LINDI MENGGUNAKAN MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR) SECARA INTERMITEN

RASHIDA MISALI
0321154000048

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

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT – RE 184804

**PHYSIC-CHEMICAL PROCESS EFFLUENT
LEACHATE TREATMENT BY USING
MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR)
INTERMITTENTLY**

RASHIDA MISALI
0321154000048

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

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGOLAHAN EFLUEN PROSES FISIK-KIMIA LINDI
MENGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM REACTOR*
(MBBR) SECARA INTERMITEN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada

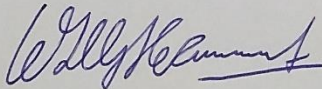
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RASHIDA MISALI

NRP. 0321154000048

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



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

NIP. 19811223 200604 1 001

**SURABAYA
JANUARI, 2020**



**PENGOLAHAN EFLUEN PROSES FISIK-KIMIA LINDI
MENGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM REACTOR* (MBBR)
SECARA INTERMITEN**

Nama Mahasiswa : Rashida Misali
NRP : 03211540000048
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Lindi merupakan salah satu permasalahan utama pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ngipik Gresik dikarenakan tidak berjalannya instalasi pengolahan lindi eksisting sehingga lindi hanya ditampung dan kemudian dikembalikan ke badan air tanpa adanya proses lebih lanjut. MBBR merupakan proses pengolahan lindi secara biologis yang mengkombinasikan prinsip kerja activated sludge dengan media sebagai tempat perkembangbiakan mikroorganisme. Efektivitas MBBR dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu karakteristik lindi yang akan diolah, serta durasi proses pengolahan aerobik dan anoksik. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap dua hal tersebut.

Sampel lindi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari TPA Ngipik Gresik dan sumber biomassa berasal dari return activated sludge unit clarifier IPLT Keputih. Penelitian dilakukan secara intermiten skala laboratorium dengan volume rencana pengolahan pada masing-masing reaktor sebesar 6 L. Reaktor dilengkapi dengan aerator dan pompa pengaduk untuk memudahkan pengkondisian proses aerobik-anoksik dalam MBBR. Dalam pengoperasiannya, MBBR membutuhkan media sebagai tempat mikroorganisme membentuk biofilm. Media yang digunakan adalah media Helix dengan total luas permukaan efektif yang digunakan yaitu $0,73 \text{ m}^2/\text{m}^3$ atau setara dengan 1 liter media.

Penelitian diawali dengan tahap analisis karakteristik awal, seeding dan aklimatisasi biomassa, serta settleability test. Pada penelitian utama digunakan variasi *pre-treatment* fisik-kimia yang meliputi lindi tanpa *pre-treatment*, lindi efluen dari proses elektro-koagulasi, dan lindi efluen dari proses elektro-oksidasi. Durasi pengolahan total yaitu 45 jam untuk setiap siklus dengan variasi proses aerobik-anoksik 22,5 jam-22,5 jam (50%-50%), 31,5 jam-13,5 jam (70%-

30%), dan 36 jam-9 jam (80%-20%). Pengolahan aerobik-anoksik dilakukan sebanyak 5 kali siklus. Dimana setiap satu siklus terdiri atas proses aerobik, anoksik, pengendapan, serta dilakukan penggantian air lindi yang diolah sebanyak satu liter untuk menciptakan kondisi intermiten. Parameter yang dianalisis antara lain ; COD, BOD₅, Nitrit-Nitrogen, Nitrat-Nitrogen, Amonium-Nitrogen, TKN, pH, DO, dan Salinitas untuk sampel lindi, MLSS dan MLVSS untuk sampel lumpur.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada variasi *pre-treatment* lindi yang sama (tanpa *pre-treatment*, elektro-oksidasi dengan anoda Pt, dan elektro-oksidasi dengan anoda Al) massa penyisihan COD tertinggi oleh MBBR terjadi pada variasi 82 (36 jam proses aerobik dan 9 jam proses anoksik). Sedangkan untuk penyisihan massa nitrogen, variasi durasi tidak mempunyai pengaruh yang signifikan. Kemudian pada variasi durasi proses aerobik-anoksik yang sama (22.5-22.5 jam, 31.5-13.5 jam, dan 36-9 jam), massa penyisihan nitrogen tertinggi terjadi pada variasi lindi tanpa *pre-treatment*. Sedangkan untuk penyisihan massa COD, variasi jenis *pre-treatment* tidak mempunyai pengaruh yang signifikan.

Kata kunci : Lindi, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Media Helix, *Pre-treatment*.

**PHYSIC-CHEMICAL PROCESS EFFLUENT LEACHATE
TREATMENT BY USING MOVING BED BIOFILM REACTOR
(MBBR) INTERMITTENTLY**

Student : Rashida Misali
NRP : 03211540000048
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

One of the main problems in Ngipik, Gresik Landfill, is leachate. The non-operational of an existing leachate treatment process forced them to directly discharge the leachate into an open water source without any appropriate treatment beforehand, left it with a high concentration of pollutant which possibly damaged the environment. MBBR as one of many biological treatment process of leachate, works with the principle of activated sludge process using a media as a breeding ground for microorganisms. This process depends on two main factors; the kind of pre treatments and operational time that were being used. This study aims to determine the effectiveness of pollutant reduction in leachate through MBBR treatment with *pre-treatment* variation and the duration of aerobik-anoksik process.

This research uses leachate samples obtained in Ngipik, Gresik Landfill and sludge samples from clarifier unit's return activated sludge in Keputih Domestic Waste Water Treatment Plant as biomass source. The research conducted with intermittent method using reactors with capacity of 6 L each. Reactors were equipped with aerator and pump to facilitate the conditioning of anoksik-anoksik processes in MBBR. To create aerobik condition, the aerator and submersible pumps will be turned on, while to create anoksik condition, the aerator will be switched off by keeping the submersible pump on. In its operation, MBBR requires a media where microorganisms can form biofilms. The media used is Helix media of 1 L with the effective area of.

The research begins with the initial characteristic analysis stage, seeding and acclimatization. During main research, pretreatment variation are; effluent of electro-coagulation, effluent of electro-oxidation, and without pretreatment. While variation for duration of aerobik-anoksik process of 45 hours for each cycle with variation

22.5 hours-22.5 hours (50% -50%), 31.5 hours-13.5 hours (70% - 30%), and 36 hours-9 hours (80% - 20%) are used. Aerobik-anoksik treatment is carried out gradually in the same reactor. In one-time processing 5 cycles are done, so it takes up to 10 days. Where each cycles includes the aerobik, anoksik, and sedimentation process. To create the intermittent condition, from each cycle, 1 L of leachate will be replaced with a new one. This research conducts three times of main parameters analysis; before aerobik process, after aerobik, and after anoksik.

Parameter that being analyze in this experiment are: COD, BOD₅, Nitrit-Nitrogen, Nitrat-Nitrogen, Amonium-Nitrogen, TKN, pH, DO, and Salinity for the leachate. MLSS dan MLVSS for the sludge.

The results of this study indicate that in the same variation of pre-treatment leachate (without pre-treatment, electro-oxidation with Pt anode, and electro-oxidation with Al anode) the highest mass of COD removal by MBBR occurred at 82 variations (36 hours aerobic process and 9 hours anoxic process). As for nitrogen mass removal, the duration variation does not have a significant effect. Meanwhile in the same variation of the aerobic-anoxic duration process (22.5-22.5 hours, 31.5-13.5 hours, and 36-9 hours), the highest mass of nitrogen removal occurred in leachate variations without pre-treatment. As for the COD mass removal, variations in the type of pre-treatment did not have a significant effect.

Keywords: Leachate, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Helix Media, *Pre-treatment*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan ilmu, perlindungan, bimbingan, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Pengolahan Efluen Proses Fisik-Kimia Lindi Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) Secara Intermiten”** dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran pembuatan laporan tugas akhir ini, yakni:

1. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan banyak ilmu, kesabaran, bantuan, motivasi serta waktu selama proses pembuatan tugas akhir ini.
2. Ibu I D A A Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D, Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., Ph.D, serta Bapak Dr.Eng Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM selaku dosen pengarah yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran yang membangun.
3. Bapak dan Ibu laboran yang telah membantu memfasilitasi serta melancarkan kegiatan penelitian.
4. Teman-teman Teknik Lingkungan dan teman-teman lainnya yang telah memberikan bantuan pelaksanaan penelitian dan semangat.
5. Semua pihak yang telah membantu pembuatan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Desember 2019
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 | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Pengertian dan Karakteristik Lindi | 5 |
| 2.2 <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) | 8 |
| 2.2.1 Penelitian Terdahulu Mengenai MBBR | 10 |
| 2.3 Degradasi Zat Organik dan Nitrogen Pada Proses Aerobik dan Anoksik | 14 |
| 2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja MBBR | 15 |
| 2.5 <i>Pre-treatment</i> Menggunakan Proses Fisik-Kimia | 16 |
| 2.5.1 Elektro-oksidasi | 17 |
| 2.5.2 Elektro-koagulasi | 19 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.5.3 | Penelitian Terdahulu Mengenai Proses Elektrokimia | 22 |
| BAB 3 | METODE PENELITIAN | 23 |
| 3.1 | Kerangka Penelitian | 23 |
| 3.2 | Pengambilan Sampel dan Perlakuan Sebelum Uji | 26 |
| 3.3 | Analisis Karakteristik Awal | 26 |
| 3.4 | Pembuatan Reaktor | 26 |
| 3.5 | <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi | 29 |
| 3.6 | Pelaksanaan Penelitian Pendahuluan | 29 |
| 3.7 | Pelaksanaan Penelitian Utama | 29 |
| 3.8 | Metode Analisa..... | 32 |
| 3.8.1 | Metode Analisis Sampel | 32 |
| 3.8.2 | Metode Analisis Data..... | 35 |
| 3.9 | Kesimpulan dan Saran..... | 35 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 | Analisis Awal Karakteristik Lindi dan Lumpur | 37 |
| 4.2 | <i>Seeding</i> , Aklimatisasi, dan <i>Settleability Test</i> | 38 |
| 4.3 | <i>Pre-treatment</i> | 40 |
| 4.4 | Penelitian Utama | 42 |
| 4.4.1 | Analisis Zat Organik | 43 |
| 4.4.2 | Analisis BOD5 dan BOD5/COD..... | 53 |
| 4.4.3 | Analisis Rasio F/M..... | 54 |
| 4.4.4 | Analisis Rasio COD/TN | 55 |
| 4.4.5 | Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrogen | 56 |
| 4.4.6 | Pengaruh Durasi Proses Aerobik-Anoksik dan Jenis pre-treatment terhadap Proses MBBR..... | 71 |
| 4.4.7 | Analisis Dissolved Oxygen | 73 |

| | | |
|----------------------------------|---|-----|
| 4.4.8 | Analisis pH..... | 75 |
| 4.4.9 | Analisis Salinitas..... | 78 |
| 4.4.10 | Perbandingan Lindi Efluen MBBR dengan Baku Mutu | 80 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | | 83 |
| 5.1 | Kesimpulan | 83 |
| 5.2 | Saran..... | 83 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 85 |
| LAMPIRAN | | 89 |
| BIOGRAFI PENULIS | | 121 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Kandungan Polutan Lindi | 5 |
| Tabel 2. 2 Karakteristik Lindi Berdasarkan Usia TPA | 6 |
| Tabel 2. 3 Karakteristik Lindi TPA Ngipik | 7 |
| Tabel 2. 4 Baku Mutu Lindi..... | 8 |
| Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu Mengenai MBBR | 11 |
| Tabel 2. 6 Potensi Reaksi Evolusi Oksigen pada Berbagai Anoda dalam H ₂ SO ₄ | 18 |
| Tabel 3. 1 Variasi Durasi Aerobik-Anoksik dan Variasi Jenis Air Lindi | 31 |
| Tabel 3. 2 Prosedur Analisa Parameter | 32 |
| Tabel 3. 3 Jumlah Sampel yang Dianalisis | 34 |
| Tabel 4. 1 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lindi..... | 37 |
| Tabel 4. 2 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lumpur | 38 |
| Tabel 4. 3 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lindi..... | 41 |
| Tabel 4. 4 Penyisihan Konsentrasi COD pada Masing-Masing Reaktor | 47 |
| Tabel 4. 5 Rasio BOD/COD pada hari ke 0 dan ke 10 pada setiap reaktor..... | 54 |
| Tabel 4. 6 Persen Removal Nitrogen dari Masing-Masing Proses | 65 |
| Tabel 4. 7 Perbandingan Lindi Efluen MBBR dengan Baku Mutu | 80 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Media Helix | 10 |
| Gambar 2. 2 Mekanisme Reaksi Langsung dan Tidak Langsung | 18 |
| Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian | 15 |
| Gambar 3. 2 Rangkaian Reaktor MBBR | 18 |
| Gambar 3. 3 Rangkaian Alat Settleability Solid Test | 20 |
| Gambar 3. 4 Ilustrasi Siklus Penelitian Utama | 21 |
| Gambar 4. 1 Hasil Settleability Solid Test | 39 |
| Gambar 4. 2 Perubahan Konsentrasi COD Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam | 44 |
| Gambar 4. 3 Perubahan Konsentrasi COD Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 jam | 45 |
| Gambar 4. 4 Perubahan Konsentrasi COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam | 46 |
| Gambar 4. 5 Mass Balance COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam | 49 |
| Gambar 4. 6 Mass Balance COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam | 50 |
| Gambar 4. 7 Mass Balance COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam | 51 |
| Gambar 4. 8 Konsentrasi BOD5 (mg/L) pada hari ke 0 dan ke 10 pada Setiap Reaktor | 53 |
| Gambar 4. 9 Rasio F/M hari ke 0 dan ke 10 pada Setiap Reaktor | 55 |
| Gambar 4. 10 Rasio COD/TN hari ke 0 dan ke 10 pada Setiap Reaktor | 56 |
| Gambar 4. 11 Perubahan Konsentrasi Amonium-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam | 58 |
| Gambar 4. 12 Perubahan Konsentrasi Amonium-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 jam | 59 |
| Gambar 4. 13 Perubahan Konsentrasi Amonium-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam | 60 |
| Gambar 4. 14 Perubahan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 Jam | 61 |
| Gambar 4. 15 Perubahan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 Jam | 62 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 16 Penyisihan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 Jam | 62 |
| Gambar 4. 17 Perubahan Konsentrasi Nitrit-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 Jam | 63 |
| Gambar 4. 18 Perubahan Konsentrasi Nitrit-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 Jam | 64 |
| Gambar 4. 19 Perubahan Konsentrasi Nitrit-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 Jam | 64 |
| Gambar 4. 20 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam | 67 |
| Gambar 4. 21 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam | 68 |
| Gambar 4. 22 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam | 69 |
| Gambar 4. 23 Massa COD Tersisih pada setiap MBBR | 71 |
| Gambar 4. 24 Massa TN Tersisih pada setiap MBBR | 72 |
| Gambar 4. 25 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam..... | 74 |
| Gambar 4. 26 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 jam..... | 74 |
| Gambar 4. 27 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam..... | 75 |
| Gambar 4. 28 Nilai pH pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam | 76 |
| Gambar 4. 29 Nilai pH pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam | 77 |
| Gambar 4. 30 Nilai pH pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam | 77 |
| Gambar 4. 31 Nilai Salinitas pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam | 78 |
| Gambar 4. 32 Nilai Salinitas pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam..... | 79 |
| Gambar 4. 33 Nilai Salinitas pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam | 79 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lindi merupakan cairan yang dikeluarkan dari sampah akibat proses degradasi biologis. Lindi dapat pula didefinisikan sebagai air atau cairan lainnya yang telah tercemar sebagai akibat kontak dengan sampah (Rustiawan *et al.*, 1993). Sebagai salah satu penghasil lindi, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ngipik Gresik yang telah berusia lebih dari 10 tahun tidak memiliki instalasi pengolahan lindi yang memadai (RPJMD Kabupaten Gresik, 2016). Sehingga lindi hanya ditampung pada kolam sebelum pada akhirnya dikembalikan ke badan air.

Di Indonesia, pengolahan lindi umumnya menggunakan proses biologis. Salah satunya yaitu Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). Secara prinsip pengolahan, MBBR merupakan pengembangan dari proses activated sludge dan fluidized bed reactor. MBBR membutuhkan lahan yang relatif kecil, waktu pengolahan yang singkat, serta dapat digunakan pada kecepatan aliran yang bervariasi dan tidak membutuhkan backwashing (Gulhane dan Kotangale, 2013). MBBR juga terbukti mampu menurunkan kadar karbon organik dan nutrisi secara efektif tanpa menimbulkan masalah pada proses lumpur aktifnya (Al-Rekabi, 2015). Dengan kombinasi proses aerobik dan anoksik, membuat proses nitrifikasi dan denitrifikasi pada MBBR menjadi efektif.

Akan tetapi seperti pengolahan biologis pada umumnya, MBBR memiliki kriteria kondisi ideal agar prosesnya berjalan dengan maksimal. Kondisi eksisting lindi TPA Ngipik dengan rasio BOD₅/COD yang rendah serta kandungan ammonium yang tinggi akan menjadi penghambat dalam pengolahan biologis (Tatsi *et al.*, 2003). Dalam banyak kasus, pengolahan biologis tidak cukup untuk menurunkan polutan pada lindi, diperlukan pengolahan yang terintegrasi (Cabeza *et al.*, 2007). Pengolahan fisik-kimia telah dibuktikan dapat menurunkan senyawa recalcitrant pada lindi yang stabil (berusia lebih dari 10 tahun) (Kurniawan *et al.*, 2006). Dari beberapa metode fisik-kimia yang ada, proses elektrokimia

dengan prinsip elektro-koagulasi dan elektro-oksidasi dapat menjadi pilihan sebagai pengolahan awal.

Elektro-koagulasi teruji dapat menurunkan ammonium dari 600 mg/L menjadi 50 mg/L (Ugurlu et al., 2004). Sementara elektro-oksidasi menunjukkan efisiensi pengolahan yang tinggi untuk parameter COD, amonium dan warna pada lindi. Metode ini dapat menurunkan kandungan organik, serta meningkatkan kemampuan biodegradasi pada lindi (Fernandes et al., 2014).

Sehingga dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh dari jenis *pre-treatment* dan durasi proses aerobik anoksik dalam MBBR. Variasi tersebut antara lain; lindi tanpa pengolahan (diperoleh langsung dari TPA Ngipik Gresik), lindi efluen proses elektro-oksidasi, serta lindi efluen proses elektro-koagulasi. Pada pelaksanaannya, media yang digunakan pada reaktor MBBR yaitu media Helix dan sumber biomassa diperoleh dari lumpur aktif return activated sludge unit Clarifier IPLT Keputih Surabaya. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai alternatif pengolahan lindi di TPA Ngipik maupun TPA di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh durasi proses aerobik-anoksik dalam mengolah lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR)?
2. Bagaimana pengaruh jenis *pre-treatment* terhadap penurunan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR)?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengkaji pengaruh durasi proses aerobik-anoksik dalam mengolah lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR).
2. Mengkaji pengaruh jenis *pre-treatment* terhadap penurunan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi

dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi mengenai alternatif pengolahan lindi di TPA Ngipik maupun TPA di Indonesia.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh jenis *pre-treatment* terhadap penurunan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR).

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah

1. Air lindi yang digunakan sebagai sampel berasal dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ngipik, Gresik.
2. Parameter yang akan diuji pada lindi antara lain COD, BOD₅, Nitrit-Nitrogen, Nitrat-Nitrogen, Amonium-Nitrogen, TKN, pH, DO, dan Salinitas. Sedangkan untuk sampel biomassa adalah MLVSS dan MLSS.
3. Sumber biomassa yang digunakan berasal dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya.
4. Data yang digunakan berupa data primer yang berasal dari analisis, sedangkan data sekunder didapatkan dari dokumen yang ada di TPA Ngipik Gresik serta IPLT Keputih Surabaya.
5. Menggunakan metode proses pengolahan biologis menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).
6. Media yang digunakan pada reaktor MBBR adalah media Helix.
7. Total luas permukaan media yang digunakan yaitu 0.73 m² pada setiap reaktor.
8. Penelitian dilakukan skala laboratorium dengan sistem reaktor intermiten.
9. Variasi yang akan dilakukan yaitu:
Variansi jenis *pre-treatment* lindi yang akan diolah dengan MBBR.
Variansi durasi aerasi-anoksik pada MBBR.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan Karakteristik Lindi

Lindi adalah cairan residu yang dihasilkan dari berbagai macam proses kimia, fisika dan biologis yang terjadi pada sampah di TPA. Lindi timbul karena adanya air yang meresap (mengalami perkolasi) melalui lapisan-lapisan sampah yang ada di TPA (Zhong *et al.*, 2017). Komponen utama lindi adalah zat organik dan amonium-nitrogen, sedangkan sisanya terdiri atas logam berat, garam anorganik, dan zat organik terklorinasi lain. Kandungan lindi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kandungan Polutan Lindi

| Kelompok Polutan Lindi | Komponen |
|---|---|
| 1. Senyawa organik | Asam, alkohol, aldehida dan biasa dikualifikasikan sebagai COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>), BOD ₅ (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>), DOC (<i>Dissolved Organik Carbon</i>), dan asam lemak volatil. |
| 2. Senyawa anorganik | Sulfat, klorida, amonium, kalsium, magnesium, natrium, kalium, hidrogen karbonat, besi, mangan dan logam berat seperti timbal, nikel, tembaga, kadmium, kromium dan zink. |
| 3. Senyawa organik xenobiotika (tidak terjadi secara alami di alam) | Hidrokarbon aromatik, fenol, alifatik klorinasi, pestisida dan plastik termasuk PCB, dioksin, dll. |

Sumber: Lee *et al.* (2010)

Bahan pencemar yang terkandung di dalam lindi dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia serta mencemari lingkungan (tanah, air permukaan atau air tanah). Pengaruh lindi

mengakibatkan perubahan warna, peningkatan kekeruhan dan penurunan kualitas air lainnya.

Lindi yang berasal dari TPA dengan komposisi sampah perkotaan memiliki karakteristik yang relatif sama, yaitu memiliki kandungan organik *biodegradable* rendah (Youcai, 2018). Nilai *biodegradability* lindi yang ditunjukkan melalui rasio BOD₅/COD mencapai nilai dibawah 0.3. Hal ini mengakibatkan efluen pengolahan biologis lindi selalu mengandung total nitrogen dalam konsentrasi tinggi, terutama nitrat (Li *et al.*, 2010). Kuantitas timbulan lindi dipengaruhi oleh 6olati curah hujan, aliran permukaan, infiltrasi, evaporasi, transpirasi, suhu, komposisi sampah, kelembapan, kedalaman dan ketinggian tumpukan sampah di TPA. Kualitas lindi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

1. Komposisi material sampah padat
2. Musim
3. Suhu dan kelembapan
4. Teknis operasional pengelolaan lindi
5. Umur timbunan sampah di TPA

(Riansyah dan Wesen, 2012).

Lindi TPA dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama berdasarkan usia TPA, yaitu muda (kurang dari 5 tahun), intermediet (5-10 tahun), dan tua atau stabil (lebih dari 10 tahun). Tipikal konsentrasi kimia masing-masing kelompok lindi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik Lindi Berdasarkan Usia TPA

| Parameter | Muda (<5 tahun) | Intermediate (5-10 tahun) | Tua (>10 tahun) |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| pH | 6.5 | 6.5-7.5 | > 7.5 |
| COD (mg/L) | > 10.000 | 4000-10.000 | < 4000 |
| BOD ₅ /COD | > 0.3 | 0.1-0.3 | < 0.1 |
| Senyawa organik | 80% asam lemak 6olatile (VFA) | 5-30% VFA + asam fulvat dan humat | asam fulvat dan humat |

| Parameter | Muda (<5 tahun) | Intermediate (5-10 tahun) | Tua (>10 tahun) |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| Logam berat | rendah-medium | rendah | rendah |
| <i>Biodegradability</i> | tinggi | medium | rendah |

Sumber: Bhalla *et al.* (2013)

Seiring meningkatnya usia TPA, kandungan COD pada lindi akan semakin berkurang, sedangkan konsentrasi nitrogen akan semakin meningkat (Yusmartini dan Setiabudidaya, 2013) Beberapa parameter uji yang dapat digunakan untuk karakteristik lindi antara lain adalah pH, warna, kekeruhan, TSS (*Total Suspended Solid*), VSS (*Volatile Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*), TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen*), NH₃-N (ammonium-nitrogen), NO₃-N (nitrat-nitrogen), NO₂-N (nitrit-nitrogen), PO₄⁻ (fosfat), fenol, dan logam (Zn, Cu, Mn, Cr, Pb dan Fe) (Aljumriana, 2015)

Pada penelitian ini sampel lindi yang digunakan merupakan lindi yang berasal dari TPA Ngipik Gresik. Lindi yang diambil berasal dari kolam anaerobik. Berdasarkan penelitian sebelumnya, karakteristik lindi TPA Ngipik dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik Lindi TPA Ngipik

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

Sumber: Huda (2017)

Di Indonesia, baku mutu atau ambang batas kualitas lindi yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air diatur dalam Permen PU Nomor 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah

Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Baku Mutu Lindi

| Parameter | Kadar Paling Tinggi | |
|------------------|---------------------|--------|
| | Nilai | Satuan |
| pH | 6-9 | - |
| BOD ₅ | 150 | mg/L |
| COD | 300 | mg/L |
| Nitrat | 30 | mg/L |
| Nitrit | 3 | mg/L |
| TSS | 100 | mg/L |
| N Total | 60 | mg/L |
| Merkuri | 0,005 | mg/L |
| Kadmium | 0,1 | mg/L |

Sumber: Permen PU (2013)

Berdasarkan Tabel 2.3 dan Tabel 2.4, terlihat bahwa kualitas lindi TPA Ngipik Gresik tidak memenuhi baku mutu yang ada meski telah dilakukan pengolahan anaerobik di kolam penampungan. Oleh karena itu dibutuhkan pengolahan lindi lebih lanjut untuk memenuhi baku mutu yang diperbolehkan.

2.2 Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Moving Bed Biofilm Reaktor (MBBR) merupakan pengembangan teknologi pengolahan biologis dari proses *activated sludge* dan proses biofilter (Kermani, *et al.*, 2008). MBBR dipercaya efektif menurunkan senyawa organik dan nitrogen karena mampu menggabungkan keunggulan dari sistem *attached growth* dan *suspended growth*. Hal ini ditunjukkan dengan pertumbuhan biomassa yang dapat tumbuh baik di media (biofilm) maupun di dalam limbah cair itu sendiri. Selama beroperasi, media dijaga agar terus bergerak dan tersirkulasi di dalam reaktor. Hal ini dikarenakan lebih dari 90% biomassa di dalam MBBR tumbuh dan berkembangbiak di dalam media tersebut (Kawan *et al.*, 2016).

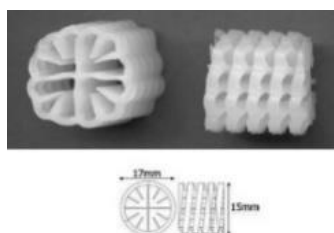
Perbedaan MBBR dengan sistem *activated sludge* lainnya adalah tidak diperlukannya resirkulasi lumpur (Metcalf dan Eddy, 2014). Hal ini dikarenakan MBBR menggunakan seluruh volume reaktornya untuk pertumbuhan biomassa sehingga tidak menghasilkan lumpur dalam jumlah banyak. Hal ini menjadi salah satu keunggulan MBBR karena hanya biomassa berlebih yang harus dipisahkan.

MBBR relatif membutuhkan lahan yang lebih kecil dan waktu pengolahan yang lebih singkat. Pengoperasiannya lebih sederhana karena tidak memerlukan resirkulasi lumpur dan *backwashing*. MBBR tidak menyebabkan *sludge bulking* yang dapat mengakibatkan *clogging* dan mampu bertahan terhadap *flow* yang bervariasi (Gulhane dan Kotangale, 2013). MBBR dipercaya lebih adaptif apabila diaplikasikan ke dalam sistem kontinu dibanding teknologi *attached growth* lainnya, seperti *trickling filter*, *rotating biological reactor*, dan lain-lain. Hal ini dikarenakan MBBR tidak memerlukan perawatan khusus untuk kontrol ketebalan biofilm ataupun *flushing* sisa padatan (Metcalf dan Eddy, 2014).

Reaktor MBBR dioperasikan pada kondisi aerobik dan anoksik. Kondisi aerobik digunakan untuk menurunkan kadar organik dan menjaga kelangsungan proses nitrifikasi, sedangkan kondisi anoksik untuk denitrifikasi (Chen *et al.*, 2008). Dalam menciptakan kondisi aerobik, MBBR menggunakan sistem aerasi untuk mendukung ketersediaan oksigen. Sistem aerasi dapat diciptakan dengan penggunaan *coarse bubble (bubbling)* udara. Injeksi udara mengakibatkan terjadinya pengadukan yang menyebabkan pergerakan media biofilm. Pergerakan tersebut berguna untuk menjaga resirkulasi mikroorganisme pada biofilm. Kondisi anoksik diciptakan dengan mematikan sistem aerasi namun tetap menjaga pergerakan media di dalam reaktor. Umumnya, pergerakan diciptakan dengan menggunakan pengaduk mekanik yang terendam dalam reaktor (Kermani, *et al.*, 2008). Kondisi aerobik ditandai dengan adanya kecukupan jumlah oksigen terlarut minimal 2 mg/L, sedangkan kondisi anoksik ditandai dengan adanya jumlah oksigen terlarut kurang dari 2 mg/L (Al-Rekabi, 2015).

Media digunakan sebagai tempat perkembangbiakan mikroorganismen serta tempat terbentuknya biofilm. Ketebalan lapisan biofilm menunjukkan tingkat pertumbuhan mikroorganismen tersebut. Adanya sirkulasi di dalam MBBR menyebabkan pertumbuhan mikroorganismen secara konstan berubah. Hal ini menyebabkan mikroorganismen terus beregenerasi sehingga mampu mereduksi senyawa organik dan nitrogen dengan baik (Kawan J. *et al.*, 2016).

Pada penelitian ini digunakan media Kaldnes Helix yang memiliki specific surface area sebesar $720 \text{ m}^2/\text{m}^3$ media Kaldnes Helix tergolong baru dan belum banyak digunakan (Brosur bioaqua.com).



Gambar 2. 1 Media Helix

Penggunaan media dalam MBBR berkaitan erat dengan fungsinya untuk menurunkan senyawa organik dan nitrogen. Ketebalan lapisan biofilm menunjukkan tingkat pertumbuhan mikroorganismen. Adanya sirkulasi di dalam MBBR menyebabkan mikroorganismen terus beregenerasi sehingga mampu menurunkan senyawa organik dan nitrogen dengan baik.

2.2.1 Penelitian Terdahulu Mengenai MBBR

Penelitian terdahulu berfungsi sebagai referensi dalam pelaksanaan dan pembahasan pada penelitian. Berikut adalah penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan berkaitan dengan proses *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu Mengenai MBBR

| No | Penelitian | Sampel | HRT | Durasi aerobik-anoksik optimum | Konsentrasi awal (mg/l) | | | | Efisiensi removal (%) | | | | Nama peneliti (tahun) | Media |
|----|--|---------------------|--------|----------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|---------------------------------------|---|
| | | | | | COD | NH ₄ -N | NH ₃ -N | NO ₃ | COD | NH ₄ -N | NH ₃ -N | NO ₃ | | |
| 1 | Pengolahan dengan MBBR. Variasi kecepatan (650 L/hari, 720 L/hari, 864 L/hari). Yang paling efisien 720 L/hari | Lindi | 38 jam | 13 hari anoksik; 18 hari aerobik | 1259 | 360 | - | 3,1 | 85 | - | - | - | (Eldyasti <i>et al.</i> , 2010) | Lava rock particles dengan diameter rata-rata 600 m (300-1000m) |
| 2 | Pengolahan dengan MBBR. Reaktor berbentuk tabung, diameter 6,6 cm, volume 500 L | Air limbah industri | 6 jam | - | 4100 | 47 | - | 2,9 | 77 | 95 | - | - | (Bachmann Pinto <i>et al.</i> , 2018) | Media Kaldnes K1 (diisi 50% dari volume MBBR) |

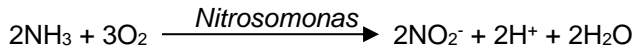
| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------|--------|-------------------------------|------|-------|---|-----|----|----|---|---|-------------------------------|---|
| 3 | Pengolahan dengan MBBR dengan rasio BOD/COD 0,4 Reaktor proses anaerobik (silinder, volume 4,2 L) Reaktor proses aerobik (<i>rectangular</i> , volume 2,1 L) | Lindi | 30 jam | - | 2464 | 400 | - | - | 95 | 97 | - | - | (Chen <i>et al.</i> , 2008) | Media bio-carrier (diisi 40% di anaerobik, 60% di aerobik) |
| 4 | MBBR yang dioperasikan secara SBR. Reaktor berbentuk silinder 10 L | Lindi | 24 jam | 16 jam aerobik; 8 jam anoksik | - | 211.5 | - | - | - | 60 | - | - | (Xiong <i>et al.</i> , 2018) | Media bio-carrier dari pengolahan air limbah (diisi 50% dari volume MBBR) |
| 5 | Pengolahan dengan MBBR menggunakan proses aerobik | Air limbah laundry | 8 jam | - | 944 | - | - | 0,9 | 94 | - | - | - | (Bering <i>et al.</i> , 2018) | Media Kaldnes K5 (surface area 800 m ² /m ³) |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------------------------------|--------|-----------------------------------|------|-------|------|-------|----|-------|----|-------|--------------------------------|---|
| 6 | Pengolahan dengan SBR dan MBBR dengan variasi pretreatment (tanpa pretreatment, ozonisasi, activated carbon) | Air limbah industri dan domestik | 48 jam | - | - | 55 | - | - | - | 80 | - | - | (Bassin <i>et al.</i> , 2011) | Media kaldness K3, pretreatment ozonisasi |
| 7 | Pengolahan air dengan MBBR (temperatur rendah) | Air limbah domestik kota | 14 jam | 7 jam aerobik; 7 jam anaerobik | 755 | 121 | 31.9 | - | 92 | 90 | 93 | - | (Laureni <i>et al.</i> , 2016) | Media Kaldnes K5 (surface area 800 m ² /m ³) |
| 8 | Pengolahan MBBR dengan pretreatment secara kimiawi | Lindi | 45 jam | 36 jam aerobik; 9 jam anoksik | 2600 | 67.71 | - | 24,20 | 92 | 65,98 | - | 13,05 | (Imania, 2018) | Media Kaldnes K1 (diisi 20% volume dari MBBR) |

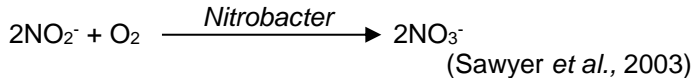
2.3 Degradasi Zat Organik dan Nitrogen Pada Proses Aerobik dan Anoksik

MBBR mampu secara efektif menurunkan senyawa organik dan nitrogen melalui proses nitrifikasi yang berlangsung dalam kondisi aerobik. Nitrifikasi adalah proses pembentukan senyawa nitrat dari senyawa amonium. Pada proses ini ion amonium dioksidasi menjadi ion nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas*, serta ion nitrit menjadi ion nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*. Secara umum, proses nitrifikasi dapat ditunjukkan melalui skema sebagai berikut:

1. Tahap nitritasi, yaitu tahap oksidasi amonium (NH_3) menjadi nitrit nitrogen (NO_2^-) oleh bakteri *Nitrosomonas* dengan reaksi sebagai berikut:



2. Tahap nitratasi, yaitu tahap saat oksidasi nitrit nitrogen (NO_2^-) menjadi nitrat nitrogen (NO_3^-) oleh bakteri *Nitrobacter* dengan reaksi sebagai berikut:



Selama proses nitrifikasi berlangsung, sekaligus terjadi proses penyisihan senyawa organik akibat adanya proses oksidasi aerobik. Proses oksidasi terjadi ketika zat organik memberikan satu atau lebih elektronnya kepada agen pengoksidasi. Dalam hal ini, agen pengoksidasi atau yang menjadi donor elektron adalah oksigen.

Dalam pengoperasian MBBR, proses nitrifikasi berada di awal proses pengolahan (*primarily treatment*). Hal ini dikarenakan proses tersebut mampu menurunkan sebagian besar zat organik terlarut yang berimbas pada minimalisasi pertumbuhan bakteri heterotropik. Bakteri heterotropik merupakan kompetitor bagi bakteri pereduksi nitrogen yang dapat mengganggu pertumbuhan bakteri pereduksi nitrogen pada lapisan biofilm (Metcalf dan Eddy, 2014). Selain itu, proses nitrifikasi juga mampu meningkatkan efisiensi pengolahan MBBR karena mampu menjamin

ketersediaan nitrogen terolah untuk proses pengolahan selanjutnya.

Proses aerobik selanjutnya diikuti dengan proses anoksik melalui proses denitrifikasi. Denitrifikasi merupakan proses penyisihan nitrat menjadi gas nitrogen. Nitrat (NO_3^-) digunakan sebagai akseptor elektron alternatif dalam respirasi anaerobik/anoksik. Nitrat selanjutnya direduksi menjadi gas-gas nitrogen seperti N_2 , NO , atau N_2O (Sawyer *et al.*, 2003). Skema dari proses denitrifikasi diawali dengan penyisihan nitrat menjadi nitrit yang kemudian diikuti oleh penyisihan nitrit. Proses ini dibantu oleh bakteri denitrifikasi, seperti *Pseudomonas denitrificant*.

Selain proses denitrifikasi, pada proses anoksik juga terjadi proses annamox yang merupakan proses digunakannya nitrit sebagai aseptor electron dalam konversi ammonium menjadi nitrogen (Karthikeyan dan Joseph, 2009).

Proses anoksik membutuhkan sumber karbon untuk mendukung pertumbuhan biomassa dan serta memenuhi kebutuhan nitrat atau nitrit sebagai akseptor elektron. Oleh sebab itu, proses anoksik didahului dengan proses aerobik.

2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja MBBR

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja MBBR antara lain *hydraulic retention time* (HRT), beban permukaan atau *surface loading rate*, dan tingkat oksigen terlarut atau *dissolve oxygen* (DO) di dalam reaktor MBBR (Kawan *et al.*, 2016).

Peningkatan efisiensi MBBR berbanding lurus dengan besarnya HRT. Untuk mencapai efisiensi yang tinggi, HRT yang disarankan adalah lebih dari 5 jam. Hal ini dikarenakan semakin besar HRT maka waktu kontak mikroorganisme dalam mengolah senyawa organik dan nitrogen akan semakin besar (Najafpour *et al.*, 2006). HRT juga berhubungan dengan waktu pembentukan biofilm sehingga berpengaruh pada perkembangan lapisan biofilm aktif di permukaan media.

Rentang HRT yang cocok untuk MBBR berkisar 12 hingga 16,5 jam dan semakin berkurang pada HRT di bawah 9 jam (Hajipour

et al., 2011). Untuk faktor beban permukaan, nilai beban yang besar dapat menyebabkan tingkat efisiensi pengolahan semakin menurun (Ayun *et al.*, 2008).

Pengaruh tingkat DO menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi DO juga akan meningkatkan efisiensi pengolahan. Untuk mencapai efisiensi pengolahan yang optimum, dibutuhkan konsentrasi DO berkisar 2 mg/L atau lebih. Peningkatan DO dari 2 mg/L hingga 6 mg/L mampu meningkatkan efisiensi pengolahan hingga 5,8%. Konsentrasi DO yang terlalu rendah dapat mengakibatkan proses nitrifikasi pada lapisan dalam biofilm tidak terjadi (Wang *et al.*, 2015). Selain itu, ukuran dan bentuk media, persentase volume media dalam reaktor MBBR, teknik difusi serta tingkat pemberian sistem aerasi juga turut mempengaruhi tingkat efisiensi pengolahan MBBR (Kawan *et al.*, 2015)

2.5 Pre-treatment Menggunakan Proses Fisik-Kimia

Pengolahan fisik-kimia dapat menurunkan *refractory* dari lindi stabil dan dapat dikombinasikan dengan proses biologis. Pengolahan fisik-kimia yang dapat digunakan untuk mengolah lindi antara lain: koagulasi-flokulasi, presipitasi kimia, *ammonium stripping*, adsorpsi, dan proses elektrokimia.

Jenis *pre-treatment* yang digunakan sebagai variasi penelitian ini yaitu elektrokimia. Elektrokimia sendiri berfokus pada reaksi kimia yang melibatkan transfer listrik pada area bermuatan listrik atau konduktor elektronik dan ionik (Strasser and Ogasawara, 2008). Proses yang terjadi akan selalu melibatkan reaksi fisik dan kimia yang ada pada reaktor elektrokimia. Berdasarkan sifatnya, metode elektrokimia dibagi kedalam 3 kelompok utama, yaitu: Metode konversi, metode pemisahan, dan metode kombinasi (Sillanpää and Shestakova, 2017).

a. Metode konversi

Memberikan perubahan fisik-kimia dan karakteristiknya dari polutan terdispersi melalui proses netralisasi, pengubahan zat, dan removal polutan tersebut. Beberapa metode konversi diantaranya adalah elektrooksidasi, elektroreduksi, dan elektro-destruksi.

b. Metode pemisahan

Merupakan pemisahan polutan yang terjadi dalam keadaan yang tidak berubah secara signifikan, seperti terbentuknya gas pada elektroflotasi dan transfer elektron pada elektrodialisis.

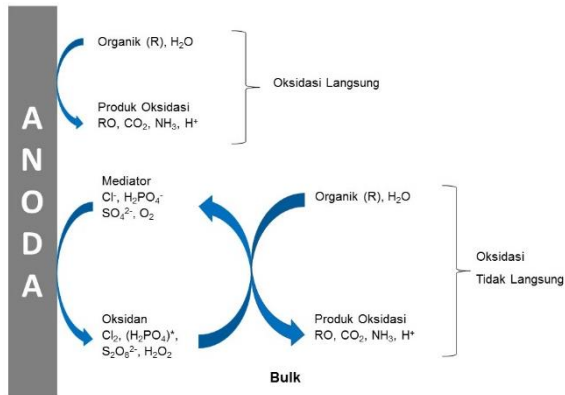
c. Metode kombinasi

Merupakan gabungan satu atau lebih metode pemisahan dan metode konversi. Salah satu contoh metode kombinasi adalah elektrokoagulasi, didasari pada proses elektrolisis dengan anoda aluminium atau besi menjadi elektrolit terlarut.

2.5.1 Elektro-oksidasi

Elektro-oksidasi adalah salah satu metode elektrokimia dimana prosesnya menggunakan jenis anoda aktif atau non aktif serta non-sacrificial anoda yang terhubung dengan aliran listrik (Deng and Englehardt, 2007). Proses ini dapat mengoksidasi polutan organik dan efektif dalam penurunan parameter COD, amonium, dan zat warna pada lindi. Disisi lain proses elektro-oksidasi menghasilkan sedikit lumpur (Mandal *et al.*, 2017). Dengan metode elektro-oksidasi, penggunaan bahan kimia dan peralatan lebih sedikit dan mudah ditemukan serta dioperasikan (Anglada *et al.*, 2009).

Proses destruksi polutan organik dan penurunan senyawa amonium dapat terjadi secara oksidasi langsung dan oksidasi tidak langsung. Oksidasi langsung terjadi pada permukaan anoda dengan adanya transfer elektron. Sedangkan oksidasi tidak langsung adalah oksidasi dengan pembentukan senyawa aktif sebagai agen pengoksidasi (Anglada *et al.*, 2009). Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Mekanisme Reaksi Langsung dan Tidak Langsung

Sumber : Sillanpää and Shestakova, (2017), dengan modifikasi

2.5.1.1 Oksidasi Langsung

Oksidasi langsung berlangsung secara dua tahapan. Pertama, proses absorpsi polutan organik dari bulk solution menuju permukaan anoda. Kedua, proses oksidasi dipermukaan anoda karena transfer elektron seperti persamaan 2.4



Dimana;

R = Polutan organik

RO = Polutan teroksidasi

Oksidasi langsung terjadi pada kondisi potensial rendah yang terjadi dibawah evolusi oksigen (1,2 Volt). Namun, laju oksidasi langsung akan bergantung dengan aktivitas elektrokimia dan jenis anoda yang digunakan (Mandal *et al.*, 2017). Beberapa anoda telah diamati hubungan antara potensial evolusi oksigen H_2SO_4 dan SHE (*Standard Hydrogen Electrode*) sesuai pada Tabel 2. 6

Tabel 2. 6 Potensi Reaksi Evolusi Oksigen pada Berbagai Anoda dalam H_2SO_4

| Anoda | Nilai vs. SHE | Kondisi Operasi |
|---------|---------------|-----------------|
| RuO_2 | 1,47 | 0,5 M H_2SO_4 |

| Anoda | Nilai vs. SHE | Kondisi Operasi |
|-----------------------------|---------------|---------------------------------------|
| IrO ₂ | 1,52 | 0,5 M H ₂ SO ₄ |
| Pt | 1,6 | 0,5 M H ₂ SO ₄ |
| Oriented Pirolytic Graphite | 1,7 | 0,5 M H ₂ SO ₄ |
| SnO ₂ | 1,9 | 0,05 M H ₂ SO ₄ |
| PbO ₂ | 1,9 | 1 M H ₂ SO ₄ |
| BDD | 2,3 | 0,5 M H ₂ SO ₄ |

Sumber: Panizza and Cerisola (2009)

Berdasarkan Tabel 2.6 dapat dilihat bahwa anoda Pt memiliki overpotensial untuk evolusi oksigen tidak terlalu tinggi (1,6 Volt). Oleh karena itu, dalam mineralisasi polutan organik dimungkinkan terjadi pada arus rendah, seperti halnya dengan rutenium dan iridium.

2.5.1.2 Oksidasi Tidak Langsung

Oksidasi tidak langsung merupakan reaksi elektrokimia melalui pembentukan spesies aktif dari proses aktivasi air pada permukaan anoda. Spesies tersebut adalah physisorbed —active oxygen (physisorbed radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$)) atau chemisorbed active oxygen (anoda logam oksida (MO)). Berdasarkan perbedaan dari spesies yang dihasilkan pula, oksidasi tidak langsung dibagi menjadi dua, yaitu konversi elektrokimia dan pembakaran elektrokimia. Pada konversi elektrokimia senyawa refractory akan diubah oleh chemisorbed “active oxygen” menjadi senyawa yang dapat didegradasi (seperti asam karboksilat). Pada pembakaran elektrokimia, senyawa organik dioksidasi menjadi CO₂ an ion anorganik lainnya.

2.5.2 Elektro-koagulasi

Pada prinsipnya, elektro-koagulasi merupakan proses pembentukan kation terlarut dari elektroda yang digunakan dan kemudian terhidrolisis menjadi koagulan. Umumnya elektroda yang digunakan adalah besi dan aluminium. Koagulan dari hasil peluruhan logam akan men-destabilisasi polutan, sehingga akan terjadi kolisi dan terbentuk ukuran agregat yang lebih besar (Sillanpää and Shestakova, 2017).

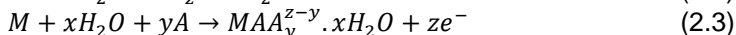
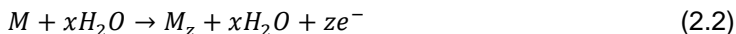
Pembentukan agregat ini dijelaskan melalui teori Derjaguin Landau Verwey Overbeek (DLVO) yang mengasumsikan bahwa akan terjadi interaksi antara gaya Van der Waals dan Double Layer Force (Matilainen *et al.*, 2010). Dalam teori DLVO dua gaya yang berkerja pada partikel halus dalam suatu sistem koloidal yaitu gaya tolak menolak Coulomb (V_r) dan gaya tarik menarik London-Van der Waals (V_{vdw}) (Wang *et al.*, 1994), hal ini membuktikan bahwa ada gaya ketiga (V_m) yang menyebabkan gaya tarik menarik antar partikel dengan sifat yang lemah pada sistem koloid sebagai berikut:

$$V_m = \frac{8\pi a^6 x^2 B^2}{9\mu_0 (H_0 + 2a)^3} \quad (2.1)$$

Dimana:

- V_m = Gaya tarik menarik antar partikel
- X = *Subsebtibility magnetic volume*
- a = Radius partikel
- H_0 = Jarak antar permukaan partikel
- B = Induksi Medan Magnet
- μ_0 = Permeabilitas ruang hampa

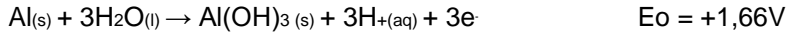
Ukuran partikel akan sangat menentukan interaksi antar partikel, semakin besar ukuran partikel, akan semakin signifikan pengaruh gaya tarik pada proses koagulasi. Elektro-koagulasi telah banyak disebutkan dapat diterapkan untuk mengolah bermacam air limbah, baik limbah industri maupun limbah domestic, enurunan parameter yang luas seperti senyawa organik, zat warna, logam berat, dan senyawa nonbiodegradable lainnya (Zodi *et al.*, 2013). Secara umum, reaksi elektro-koagulasi yang terdiri atas reaksi terhidrat sederhana dan reaksi pembentukan oksida logam adalah sebagai berikut:



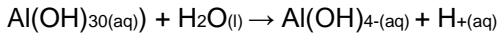
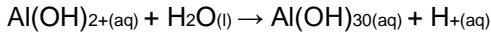
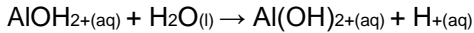
Metode elektro-oksidasi dipengaruhi oleh bahan anoda, jarak antara anoda, debit operasi, suhu, pH, kerapatan arus, dan komposisi ionik. Berikut reaksi yang terjadi di anoda dan katoda;

2.5.2.1 Reaksi di Anoda

Pada anoda akan terjadi reaksi-reaksi oksidasi terhadap anion, anoda aluminium akan teroksidasi sebagai berikut:



Anoda aluminium yang teroksidasi tidak langsung membentuk koagulan aluminium hidroksil (Al(OH)_3), tetapi melalui beberapa tahap berdasarkan kondisi keasamaan.



Kation bermuatan tinggi mendestabilisasi beberapa partikel koloid dengan membentuk polivalen polihidroksi kompleks. Senyawa kompleks ini mempunyai sisi yang mudah diadsorpsi, membentuk gumpalan (aggregates) dengan polutan. Pelepasan gas hidrogen akan membantu pencampuran dan pembentukan flok (Mukimin, 2006).

2.5.2.2 Reaksi di Katoda

Pada katode akan terjadi reaksi reduksi terhadap kation (ion H^+ dan ion-ion logam) sebagai berikut;

- Ion H^+ dari suatu asam dalam larutan akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.
Reaksi: $2\text{H}^+\text{(aq)} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{(g)}$
- Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali dan alkali tanah, maka ion ini tidak dapat direduksi dari larutan. Oleh karena itu, yang akan mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katode.
Reaksi: $2\text{H}_2\text{O(l)} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$
- Ion-ion logam dalam larutan akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katode.

(Siringo-ringo *et al.*, 2013).

2.5.3 Penelitian Terdahulu Mengenai Proses Elektrokimia

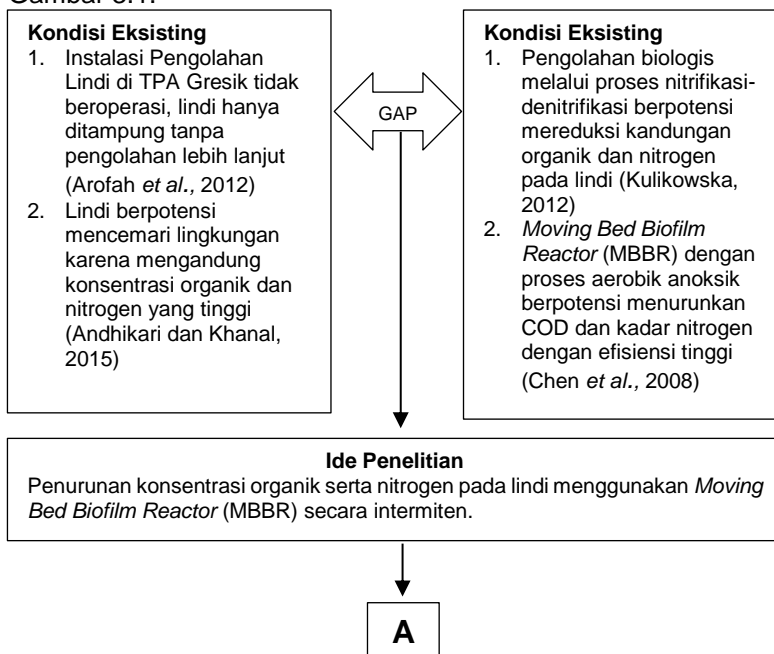
Penelitian terdahulu berfungsi sebagai referensi dalam pelaksanaan dan pembahasan pada penelitian. Berikut adalah penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan berkaitan dengan proses elektrokimia;

1. Dalam penelitiannya, Ilhan *et al.* (2008) menjelaskan bahwa penggunaan elektroda aluminium (Al) memiliki efisiensi lebih baik dari besi (Fe). Efisiensi penurunan COD menggunakan Fe pada kerapatan arus 348 A/m² adalah 32%, sedangkan menggunakan elektroda Al dapat menurunkan sampai 45%. Lindi awal memiliki karakteristik COD 12.860 mg/L.
2. Vlyssides *et al.* (2010) menjelaskan bahwa menggunakan anoda Pt dengan variasi pH 6 sampai pH 9 dan dengan waktu 350 menit untuk menurunkan senyawa amonium, COD dan VSS masing masing memiliki nilai awal 930 mg/L, 5300 mg/L, dan 572 mg/L memiliki persen removal untuk COD sebesar 84% dan Amonium serta VSS hampir 100%.
3. Dalam penelitiannya dengan proses elektro-koagulasi Mahmad *et al.* (2015) menjelaskan bahwa penggunaan pH 3 sampai pH 7 adalah pH yang dapat digunakan pada proses elektro-koagulasi. Dengan variasi voltase yaitu 1,5V, 2V, 2,5V.
4. Jika dibandingkan elektro-koagulasi dengan metode koagulasi kimiawi didapatkan nilai lebih besar yaitu 95% removal untuk elektro-koagulasi dan 79 % untuk koagulasi kimiawi pada pH 8. Hal ini dikarenakan pada prosesnya terbentuk senyawa Aluminium dengan jenis bayerite dan doyleite (Danis dan Huang, 2015).
5. Ukundimana *et al.* (2018) menjelaskan bahwa menggunakan anoda Pt dalam mengolah lindi dapat menyisihkan COD dengan angka 5,58 g/Ah.m⁻². Selama 360 menit pada kerapatan arus 60 Am⁻², 120 Am⁻², dan 360 Am⁻².
6. Dalam penelitiannya, Sidik. (2015) menjelaskan bahwa penyisihan polutan organik tertinggi pada anoda Al dan Pt terjadi apabila pH dikondisikan semakin asam, yaitu di pH 4 berturut-turut adalah sebesar 5,92 g dan 2,68 g. Penyisihan amonium tertinggi pada anoda Al dan Pt, masing-masing terjadi di pH 6 sebesar 0,60 g dan pH 4 sebesar 0,45 g.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Bahan uji yang digunakan berupa lindi dari TPA Ngipik Gresik dan sumber biomassa dari IPLT Keputih. Penelitian ini didasarkan atas adanya “GAP” antara kondisi ideal dengan kondisi eksisting sehingga dapat ditentukan rumusan masalah dan tujuan dari penelitian. Berikutnya, dilakukan persiapan awal penelitian yang terdiri atas persiapan alat dan bahan serta penelitian pendahuluan untuk memudahkan pelaksanaan penelitian. Setelah itu dilakukan analisis dan pembahasan terkait hasil penelitian untuk merumuskan kesimpulan. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



A

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh durasi proses aerobik-anoksik dalam mengolah lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR)?
2. Bagaimana pengaruh jenis *pre-treatment* terhadap penurunan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR)?

Tujuan Penelitian

1. Mengkaji pengaruh durasi proses aerobik-anoksik dalam mengolah lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR)
2. Mengkaji pengaruh jenis *pre-treatment* terhadap penurunan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR)

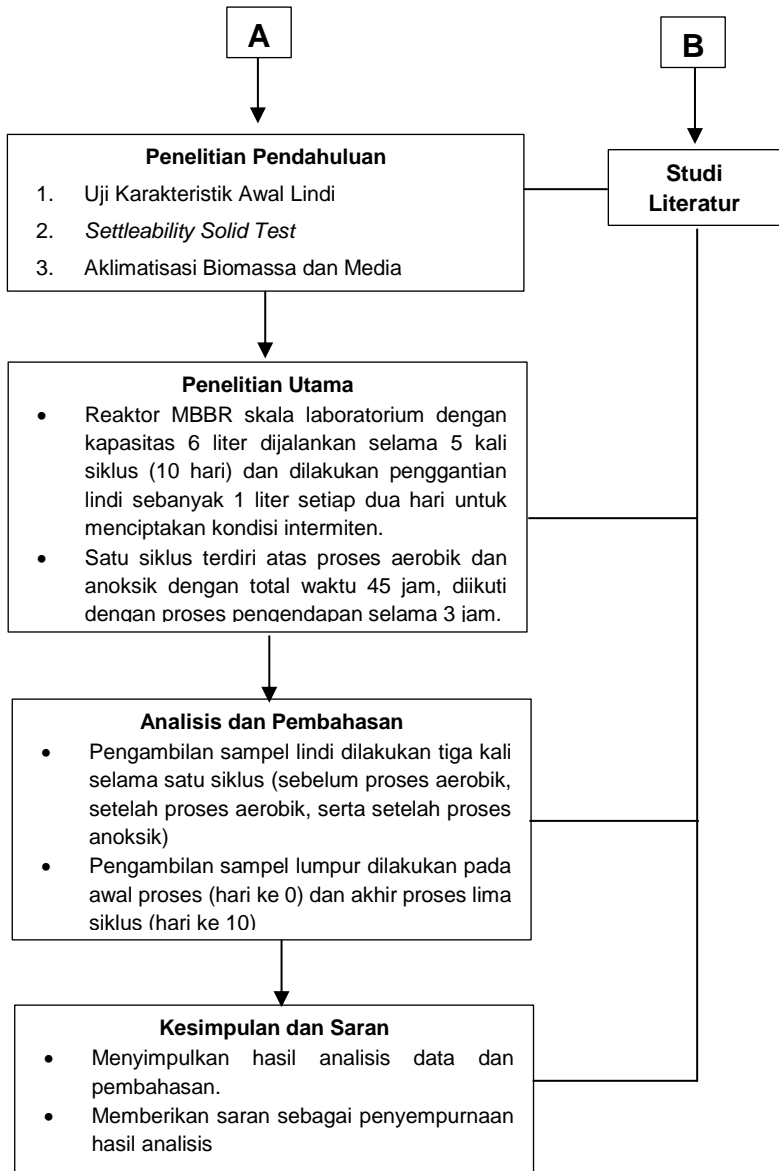
Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel : Variasi Jenis Lindi (Lindi tanpa pengolahan awal, lindi efluen proses elektro-oksidasi, lindi efluen proses elektro-koagulasi) dan Variasi Durasi Aerobik-Anoksik 45 jam (50%-50%, 70%-30%, 80%-20%)

Parameter Uji : Sampel Lindi (COD, BOD, Amonium-Nitrogen, Nitrat-Nitrogen, Nitrit-Nitrogen, TKN, pH, DO, dan Salinitas) dan Sampel Lumpur (MLSS dan MLVSS)

A

B



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2 Pengambilan Sampel dan Perlakuan Sebelum Uji

Sampel lindi diambil dari kolam penampungan lindi TPA Ngipik Gresik sebanyak 240 Liter (perhitungan kebutuhan sampel dapat dilihat pada Lampiran). Setelah itu sampel lindi akan dibagi menjadi tiga sesuai dengan tiga variasi *pre-treatment* yang digunakan pada penelitian ini yaitu;

- Lindi tanpa *pre-treatment*
- Lindi efluen proses elektro-koagulasi
- Lindi efluen proses elektro-oksidasi

Pada lindi efluen proses fisik-kimia akan dilakukan proses pengolahan secara Elektro-koagulasi dan Elektro-oksidasi terlebih dahulu melalui reaktor kemudian ditampung hingga mencapai volume lindi yang dibutuhkan.

Sampel lumpur sebagai sumber biomassa pada reaktor MBBR diambil dari *return activated sludge unit clarifier* IPLT Keputih Surabaya. Hal ini dikarenakan lumpur tersebut memiliki konsentrasi yang tinggi yaitu sebesar 28000 mg/L serta telah berada dalam kondisi anoksik sehingga siap digunakan untuk mengolah zat organik dan nitrogen yang terdapat pada lindi (Aljumriana, 2015)

3.3 Analisis Karakteristik Awal

Analisis karakteristik awal bertujuan untuk mengetahui kualitas lindi dan lumpur aktif yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam analisis ini dilakukan uji karakteristik yang meliputi COD, BOD₅, Nitrit-Nitrogen, Nitrat-Nitrogen, Amonium-Nitrogen, TKN, pH, DO, dan Salinitas pada sampel lindi serta MLVSS dan MLSS pada sampel biomassa. Apabila hasil uji pH pada analisis karakteristik awal terlalu asam atau terlalu basa, maka akan dilakukan *pH Adjustment*.

3.4 Pembuatan Reaktor

Volume rencana pengolahan pada reaktor MBBR adalah 6 L. Untuk itu reaktor MBBR dibuat dari wadah plastik dengan diameter ± 22,5 cm dan tinggi 30 cm dengan kapasitas 10 L. Media yang digunakan adalah media Helix (Gambar 3.3) sebanyak 1 L dengan kondisi terendam dalam lindi.

Reaktor yang dibutuhkan berjumlah sembilan unit dengan rincian variasi sesuai dengan Tabel 3.1. Setiap reaktor dilengkapi dengan tiga keran yang diberi nama Keran 1, Keran 2, dan Keran 3 yang terletak pada ketinggian yang berbeda-beda sesuai dengan fungsinya seperti pada keterangan berikut :

Keran 1

Berfungsi untuk mengambil sampel biomassa pada reaktor MBBR. Dikarenakan volume lumpur pada setiap reaktor sebanyak 1 L, keran diletakkan pada volume 0.8 L agar memudahkan dalam proses pengambilan sampel lumpur.

Perhitungan Posisi Keran 1:

| | |
|--|------------------------|
| Diameter Reaktor | : 22,5 cm |
| Luas Alas Reaktor | : 397.4 cm |
| Volume Media | : 1000 cm ³ |
| Posisi Keran 1 (ditambah volume alat dan media): | 1800 cm ³ |
| Ketinggian Keran 1 (dari dasar reaktor) | : 4 cm |

Keran 2

Berfungsi untuk mengambil sampel lindi pada reaktor MBBR. Dikarenakan volume pengolahan pada setiap reaktor adalah 6 L, keran diletakkan pada volume 3.5 L atau tepat pada posisi tengah. Hal ini bertujuan agar sampel lindi yang diambil dapat merepresentasikan kondisi reaktor.

Perhitungan Posisi Keran 2:

| | |
|--|------------------------|
| Diameter Reaktor | : 22,5 cm |
| Luas Alas Reaktor | : 397.4 cm |
| Volume Media | : 1000 cm ³ |
| Posisi Keran 2 (ditambah volume alat dan media): | 3500 cm ³ |
| Ketinggian Keran 2 (dari dasar reaktor) | : 11 cm |

Keran 3

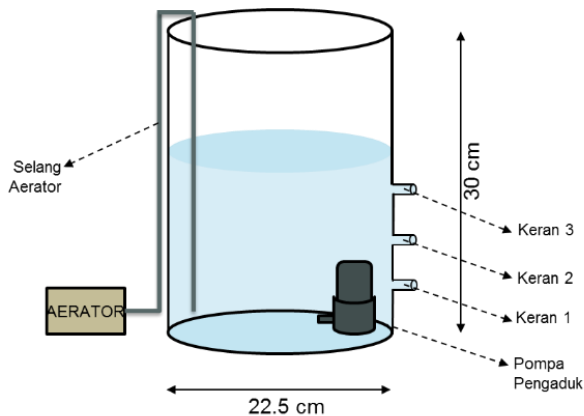
Berfungsi untuk mengambil lindi sebanyak 1 L pada setiap siklus untuk kemudian diganti dengan lindi yang baru untuk menciptakan kondisi intermiten. Sampel lindi pada reaktor MBBR. Dikarenakan volume pengolahan pada setiap reaktor adalah 6 L, keran diletakkan pada volume 5 L.

Perhitungan Posisi Keran 1:

| | |
|------------------|-----------|
| Diameter Reaktor | : 22,5 cm |
|------------------|-----------|

| | |
|--|------------------------|
| Luas Alas Reaktor | : 397.4 cm |
| Volume Media | : 1000 cm ³ |
| Posisi Keran 3 (dalam volume + volume media) | : 5000 cm ³ |
| Ketinggian Keran 3 (dari dasar reaktor) | : 18 cm |

Dalam pengujian ini, masing-masing reaktor juga dilengkapi dengan aerator dan pompa pengaduk. Aerator digunakan untuk menciptakan kondisi aerobik dengan memberikan suplai oksigen. Pada proses aerobik, aerator akan dinyalakan sedangkan pada kondisi anoksik, aerator akan dimatikan. Pada proses aerobik, aerator akan dinyalakan sedangkan pada kondisi anoksik, aerator akan dimatikan. Rangkaian reaktor MBBR dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Reaktor Uji MBBR

Reaktor dilengkapi dengan aerator dan pompa *submersible*. Pada proses aerobik, aerator akan dinyalakan sedangkan pada kondisi anoksik, aerator akan dimatikan. Aerator yang digunakan merupakan Amara tipe BS-410 dengan debit output sebesar 3,5 L/menit. Penggunaan spesifikasi ini disesuaikan dengan kebutuhan debit aerator berdasarkan perhitungan (pada lampiran) untuk menjamin tercapainya nilai DO > 2 mg/L pada kondisi aerobik.

Pompa *submersible* digunakan untuk menjaga agar media tetap bergerak di dalam reaktor. Pompa yang digunakan adalah Atman tipe AT-103 dengan kapasitas pengadukan 1300 L/menit. Tinggi maksimal pengadukan oleh pompa yaitu 2 meter.

3.5 Seeding dan Aklimatisasi

Seeding dan aklimatisasi merupakan proses menumbuhkan mikroorganisme yang berasal dari lumpur aktif. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan biomassa yang siap mengolah polutan lindi di dalam reaktor MBBR. Proses dilakukan dengan cara memasukkan lindi dan lumpur aktif ke dalam reaktor MBBR. Hal ini dilakukan untuk membiasakan mikroorganisme menguraikan polutan yang terkandung di dalam lindi. Selain itu ditambahkan pula sukrosa yang berasal dari gula pasir. Jumlah gula yang dimasukkan ke dalam reaktor bergantung pada karakteristik lindi yang digunakan. Gula berfungsi sebagai sumber organik bagi mikroorganisme sebelum nantinya mengolah 100% lindi di dalam reaktor. Total waktu yang dibutuhkan untuk proses aklimatisasi yaitu 30 hari.

3.6 Pelaksanaan Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasi untuk pengujian parameter. Kurva kalibrasi yang dibuat meliputi kurva kalibrasi amonium-nitrogen, nitrat-nitrogen dan nitrit-nitrogen. Selain itu dilakukan pula *pre-treatment* terhadap lindi dengan variasi:

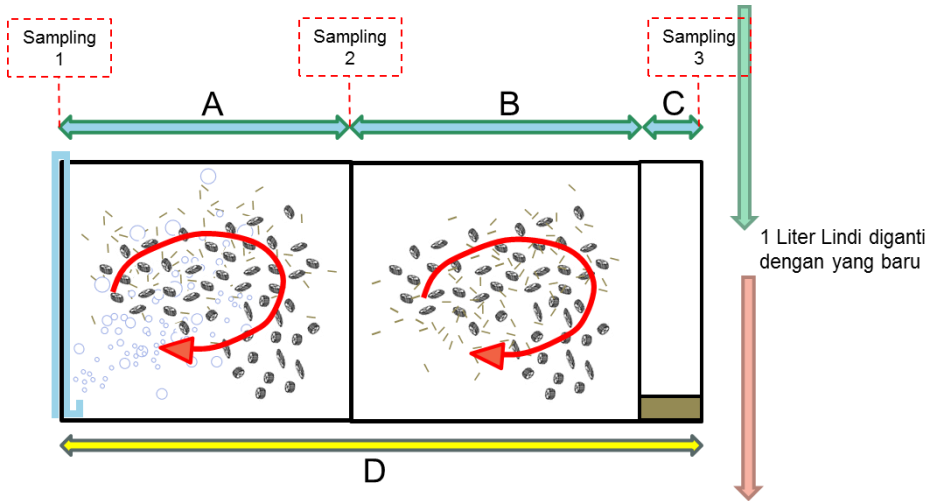
- Lindi tanpa *pre-treatment*
- *Pre-treatment* lindi menggunakan elektro-oksidasi
- *Pre-treatment* lindi menggunakan elektro-koagulasi

3.7 Pelaksanaan Penelitian Utama

Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi jenis lindi yang akan diolah dan variasi durasi aerobik-anoksik selama 10 hari yang terdiri atas 5 siklus dimana pada setiap siklus dilakukan pengambilan sampel sebanyak tiga kali pada saat sebelum proses aerobik yang kemudian diberi kode "IN" untuk sampel sebelum proses aerobik (influen), "AER" untuk sampel setelah proses aerobik, dan "AN" untuk sampel setelah proses anoksik. Kemudian

untuk menciptakan kondisi intermiten, maka pada setiap siklus dilakukan penggantian lindi sebesar satu liter.

Ilustrasi mengenai proses lindi yang akan diolah dalam satu siklus dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 3 Ilustrasi Siklus Penelitian Utama

Keterangan Gambar:

A = Durasi proses aerobik pada MBBR

B = Durasi proses anoksik pada MBBR

C = Durasi proses pengendapan (sesuai hasil *settleability solid test*)

D = Total waktu yang dibutuhkan untuk satu kali siklus.

Sesuai dengan gambar tersebut, satu siklus terdiri atas proses aerobik, proses anoksik, dan pengendapan. Kondisi aerobik diciptakan dengan memberikan suplai oksigen dari aerator. Untuk menjamin suplai oksigen di dalam reaktor terdistribusi dengan merata maka pompa akuarium dikondisikan menyala. Kondisi anoksik diciptakan dengan memberikan sedikit atau tanpa adanya suplai oksigen sehingga aerator dikondisikan dalam keadaan mati.

Pada kondisi anoksik pompa akuarium tetap dikondisikan menyala untuk menjaga sirkulasi media di dalam reaktor.

Total waktu yang dibutuhkan untuk satu kali siklus yaitu 48 jam dengan rincian 45 jam proses aerobik-anoksik dan dilanjutkan dengan 3 jam proses pengendapan. Variasi durasi proses aerobik-anoksik dengan total waktu 45 jam dibagi lagi menjadi tiga yaitu; 50%-50% (22,5-22,5 jam), 70%-30% (31,5-13,5 jam) dan 80%-20% (36-9 jam). Penjelasan mengenai durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Variasi Durasi Aerobik-Anoksik dan Variasi Jenis Air Lindi

| Kode Reaktor MBBR | Aerobik (%) | Anoksik (%) | Durasi (jam) | | Keterangan |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|------|----------------------------|
| Reaktor NON-55 | 50 | 50 | 22,5 | 22,5 | Tanpa <i>Pre-treatment</i> |
| Reaktor EK-55 | 50 | 50 | 22,5 | 22,5 | Elektro-koagulasi |
| Reaktor EO-55 | 50 | 50 | 22,5 | 22,5 | Elektro-oksidas |
| Reaktor NON-73 | 70 | 30 | 31,5 | 13,5 | Tanpa <i>Pre-treatment</i> |
| Reaktor EK-73 | 70 | 30 | 31,5 | 13,5 | Elektro-koagulasi |
| Reaktor EO-73 | 70 | 30 | 31,5 | 13,5 | Elektro-oksidas |
| Reaktor NON-82 | 80 | 20 | 36 | 9 | Tanpa <i>Pre-treatment</i> |
| Reaktor EK-82 | 80 | 20 | 36 | 9 | Elektro-koagulasi |
| Reaktor EO-82 | 80 | 20 | 36 | 9 | Elektro-oksidas |

Variasi durasi proses aerobik-anoksik dikondisikan memiliki durasi waktu aerobik yang lebih lama. Hal ini berfungsi untuk mengetahui jumlah penurunan zat organik dari proses aerobik serta

memastikan adanya suplai oksigen yang cukup untuk proses anoksik (Aljumriana, 2015). Durasi aerobik yang lebih lama juga digunakan untuk meningkatkan proses nitrifikasi. Hal ini dilakukan karena konsentrasi amonia pada lindi sangat besar sedangkan jumlah nitrat untuk proses denitrifikasi pada saat anoksik masih sangat kecil.

3.8 Metode Analisa

Menentukan efisiensi pengolahan dengan menghitung penurunan polutan organik dan nitrogen. Dari data tersebut akan dibandingkan dengan kondisi rasio BOD₅/COD, rasio C/N, pH operasi dan komponen lain yang berpengaruh terhadap efisiensi pengolahan biologis untuk kemudian dibahas lebih lanjut mengenai pengaruh durasi proses aerobik-anoksik serta jenis *pre-treatment* dalam mengolah lindi menggunakan MBBR.

3.8.1 Metode Analisis Sampel

Pengujian parameter dilakukan pada sampel lindi serta sampel biomassa. Parameter yang akan diuji pada lindi antara lain COD, BOD₅, Nitrit-Nitrogen, Nitrat-Nitrogen, Amonium-Nitrogen, TKN, pH, DO, dan Salinitas. Sedangkan untuk sampel biomassa yaitu MLVSS dan MLSS. Berikut merupakan metode analisis pada setiap parameter yang disajikan pada Tabel 3.2:

Tabel 3. 2 Prosedur Analisa Parameter

| Parameter | Tujuan | Metode |
|--|---|---|
| <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i> | Mengetahui tingkat penurunan polutan organik pada lindi | <i>Closed Reflux and colorimetric (SNI 6989.2:2009)</i> |
| <i>Biochemical Oxygen Demand (BOD₅)</i> | Mengetahui tingkat biodegradabilitas pada lindi | Metode Winkler (Titration) (SNI 6989.72:2009) |
| Nitrit-Nitrogen | Mengetahui kandungan dan penurunan nitrit dalam sampel | Metode Spektrofotometri (NED) (SNI 06-6989.9-2004) |

| Parameter | Tujuan | Metode |
|--|---|--|
| Nitrat-Nitrogen | Mengetahui kandungan dan penurunan nitrat-nitrogen dalam sampel | Spektrofotometer, Nessler (SNI 6989.79:2011) |
| Amonium-Nitrogen | Mengetahui kandungan dan penurunan ammonium-nitrogen dalam sampel | Spektrofotometer (SNI 06- 6989.1-2004) |
| <i>Total Kjeldahl Nitrogen</i> (TKN) | Mengetahui jumlah nitrogen yang terikat pada organik | Spektrofotometer, Nessler (SNI 6989.79:2011) |
| pH | Menganalisis tingkat keasaman pada lindi | Metode elektrometri (pH meter) (SNI 06-6989.11-2004) |
| <i>Dissolved Oxygen</i> (DO) | Mengetahui kecukupan oksigen di dalam reaktor. | Metode Winkler (SNI 06-6989.14-2004) |
| Salinitas | Mengetahui kadar garam pada sampel | Metode elektrometri menggunakan alat <i>pH onlab-EC 10</i> (SNI 7644:2010) |
| <i>Mixed Liquor Suspended Solid</i> (MLSS) | Mengetahui kecukupan biomassa atau pertumbuhan biomassa (M) | Metode Gravimetri (SNI 19-6447-2000) |
| <i>Mixed Liquor Volatile Suspended Solid</i> (MLVSS) | Mengetahui kecukupan biomassa atau pertumbuhan biomassa (M) | Metode Gravimetri (SNI 19-6447-2000) |

Sementara keterangan mengenai jumlah serta kode sampel yang akan dianalisa selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.3 (tersaji pada halaman berikutnya)

Tabel 3. 3 Jumlah Sampel yang Dianalisis

| Jenis Pre-treatment | Reaktor | Waktu Pengambilan Sampel | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|--------------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| | | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | | IN 1 | AER 1 | AN 1 | IN 2 | AER 2 | AN 2 | IN 3 | AER 3 | AN 3 | IN 4 | AER 4 | AN 4 | IN 5 | AER 5 | AN 5 |
| NON | 55 | NON55 IN 1 | NON55 AER 1 | NON55 AN 1 | NON55 IN 2 | NON55 AER 2 | NON55 AN 2 | NON55 IN 3 | NON55 AER 3 | NON55 AN 3 | NON55 IN 4 | NON55 AER 4 | NON55 AN 4 | NON55 IN 5 | NON55 AER 5 | NON55 AN 5 |
| | 73 | NON73 IN 1 | NON73 AER 1 | NON73 AN 1 | NON73 IN 2 | NON73 AER 2 | NON73 AN 2 | NON73 IN 3 | NON73 AER 3 | NON73 AN 3 | NON73 IN 4 | NON73 AER 4 | NON73 AN 4 | NON73 IN 5 | NON73 AER 5 | NON73 AN 5 |
| | 82 | NON82 IN 1 | NON82 AER 1 | NON82 AN 1 | NON82 IN 2 | NON82 AER 2 | NON82 AN 2 | NON82 IN 3 | NON82 AER 3 | NON82 AN 3 | NON82 IN 4 | NON82 AER 4 | NON82 AN 4 | NON82 IN 5 | NON82 AER 5 | NON82 AN 5 |
| EO | 55 | EO55 IN 1 | EO55 AER 1 | EO55 AN 1 | EO55 IN 2 | EO55 AER 2 | EO55 AN 2 | EO55 IN 3 | EO55 AER 3 | EO55 AN 3 | EO55 IN 4 | EO55 AER 4 | EO55 AN 4 | EO55 IN 5 | EO55 AER 5 | EO55 AN 5 |
| | 73 | EO73 IN 1 | EO73 AER 1 | EO73 AN 1 | EO73 IN 2 | EO73 AER 2 | EO73 AN 2 | EO73 IN 3 | EO73 AER 3 | EO73 AN 3 | EO73 IN 4 | EO73 AER 4 | EO73 AN 4 | EO73 IN 5 | EO73 AER 5 | EO73 AN 5 |
| | 82 | EO82 IN 1 | EO82 AER 1 | EO82 AN 1 | EO82 IN 2 | EO82 AER 2 | EO82 AN 2 | EO82 IN 3 | EO82 AER 3 | EO82 AN 3 | EO82 IN 4 | EO82 AER 4 | EO82 AN 4 | EO82 IN 5 | EO82 AER 5 | EO82 AN 5 |
| EK | 55 | EK55 IN 1 | EK55 AER 1 | EK55 AN 1 | EK55 IN 2 | EK55 AER 2 | EK55 AN 2 | EK55 IN 3 | EK55 AER 3 | EK55 AN 3 | EK55 IN 4 | EK55 AER 4 | EK55 AN 4 | EK55 IN 5 | EK55 AER 5 | EK55 AN 5 |
| | 73 | EK73 IN 1 | EK73 AER 1 | EK73 AN 1 | EK73 IN 2 | EK73 AER 2 | EK73 AN 2 | EK73 IN 3 | EK73 AER 3 | EK73 AN 3 | EK73 IN 4 | EK73 AER 4 | EK73 AN 4 | EK73 IN 5 | EK73 AER 5 | EK73 AN 5 |
| | 82 | EK82 IN 1 | EK82 AER 1 | EK82 AN 1 | EK82 IN 2 | EK82 AER 2 | EK82 AN 2 | EK82 IN 3 | EK82 AER 3 | EK82 AN 3 | EK82 IN 4 | EK82 AER 4 | EK82 AN 4 | EK82 IN 5 | EK82 AER 5 | EK82 AN 5 |

Keterangan:

NON = Lindi tanpa melalui proses *pre-treatment*
 EO = Lindi efluen proses elektro-oksidasi
 EK = Lindi efluen proses elektro-koagulasi
 IN = Sebelum proses aerobik
 AER = Setelah proses aerobik
 AN = Setelah proses anoksik

55 = Variasi 22.5-22.5 jam aerobik-anoksik
 73 = Variasi 31.5-13.5 jam aerobik-anoksik
 82 = Variasi 36-9 jam aerobik-anoksik

3.8.2 Metode Analisis Data

Untuk analisis data dan pembahasan pada penelitian ini mencangkup beberapa tahapan yaitu:

1. Kemampuan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) untuk menurunkan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi.
2. Pengaruh durasi proses aerobik-anoksik dalam mengolah lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).
3. Pengaruh jenis *pre-treatment* terhadap penurunan konsentrasi organik dan nitrogen pada lindi dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).
4. Perbandingan lindi efluen *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan baku mutu.

Hasil analisis dibahas dan diverifikasi kembali dengan tinjauan pustaka sehingga dapat memberikan kesimpulan. Analisis dan pembahasan dalam penelitian ini akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan tahapan paling akhir dalam penelitian. Tahap akhir yang dilakukan pada penelitian adalah menyimpulkan hasil analisis data dan pembahasan serangkaian penelitian yang dilakukan. Kesimpulan dari hasil penelitian ditulis sesuai dengan kondisi eksisting saat meneliti dan dapat menjawab tujuan. Kesimpulan disajikan dalam bentuk poin-poin secara singkat dan jelas. Saran merupakan rekomendasi yang diberikan untuk penelitian selanjutnya. Tujuan dari saran adalah memperbaiki dan menyempurnakan penelitian sebelumnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Awal Karakteristik Lindi dan Lumpur

Konsentrasi COD yang tinggi disebabkan oleh musim kemarau panjang yang terjadi pada beberapa bulan sebelum sampling dilakukan. Untuk sampel lindi diperoleh lindi dengan konsentrasi COD sebesar 12000 mg/L.

Hasil analisis awal karakteristik lindi dapat dilihat pada tabel 4.1:

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lindi

| Parameter | Satuan | Nilai |
|-----------------------|--------|--------|
| Lindi | | |
| COD | mg/L | 12000 |
| NH ₄ -N | mg/L | 219.70 |
| NO ₃ -N | mg/L | 57.34 |
| NO ₂ -N | mg/L | 64.72 |
| BOD ₅ | mg/L | 360 |
| BOD ₅ /COD | - | 0.06 |
| pH | - | 8.7 |
| Salinitas | Ppt | 6.06 |

Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan data karakteristik lindi pada Tabel 4.1 bahwa lindi TPA Ngipik memiliki nilai COD yang tinggi yaitu 12000 mg/L, nilai ini tidak memenuhi nilai baku mutu lindi di Indonesia untuk COD yaitu 300 mg/L. Nilai rasio BOD₅/COD juga dikategorikan rendah yaitu 0,06. Chian and Dewalle (1976) menyampaikan bahwa rasio BOD₅/COD akan menurun secara cepat dari 0,7-0,04 seiring dengan penambahan umur TPA. Tingkat stabilitas lindi mempengaruhi rasio BOD₅/COD dan konsentrasi amonium yang tinggi. Ketika rasio BOD₅/COD memiliki nilai <0,1 maka lindi tersebut tergolong stabil (Amokrane *et al.*, 1997). Lindi stabil memiliki kandungan asam humat dan fulfat yang bersifat recalcitrant (Kulikowska and Klimiuk, 2008). Asam Humat terdiri

atas senyawa organik yang berbeda dan jumlahnya akan meningkat seiring usia lindi, dalam lingkungan, senyawa ini dapat mengganggu degradasi alami (Kang *et al.*, 2002). Selain keberadaan senyawa non-biodegradable pada lindi, terdapat lebih dari 200 senyawa organik telah teridentifikasi, beberapa senyawa anorganik dan logam berat (Kjeldsen *et al.*, 2002). Keadaan ini membuat pengolahan biologis menjadi tidak efektif, sehingga diperlukan pengolahan pendahuluan sebelum masuk ke pengolahan biologis.

Pengambilan lumpur dilakukan dengan cara mengendapkan air dari unit return activated sludge clarifier IPLT Keputih Surabaya selama tujuh jam sebelum kemudian diambil lumpurnya. Hal ini dilakukan karena kandungan solid dalam lumpur saat itu sedang rendah yaitu sebesar 2%.

Tabel 4. 2 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lumpur

| Lumpur | | |
|--------|------|-------|
| MLSS | mg/L | 28000 |
| MLVSS | mg/L | 19600 |

Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan hasil tabel tersebut dapat diketahui bahwa lumpur yang akan digunakan sebagai biomassa pada MBBR digolongkan dalam kategori lumpur yang sehat karena kandungan MLVSS telah mencapai 70% dari nilai MLSS (Al-Rekabi, 2015).

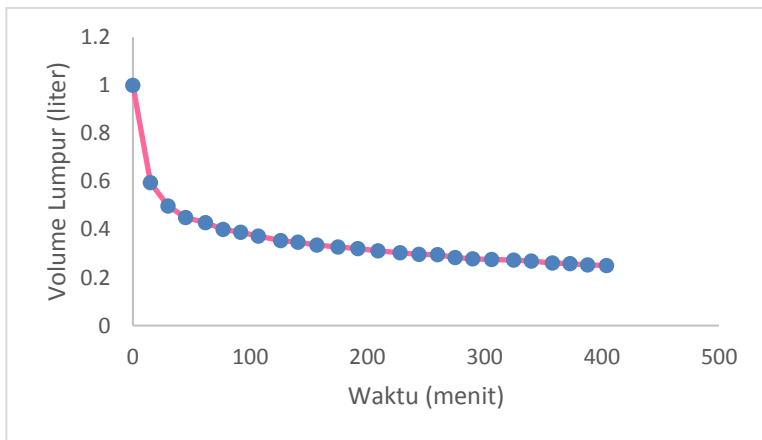
4.2 Seeding, Aklimatisasi, dan Settleability Test

Seeding dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroorganisme sehingga didapat jumlah biomassa yang cukup untuk mengolah lindi pada reaktor MBBR. Pada proses *seeding* dilakukan memberikan sumber organik pada mikroorganisme yang berasal dari sampel dan sumber organik tambahan yang berasal dari sukrosa. Pemberian sumber organik tambahan dimaksudkan untuk memudahkan mikroorganisme dalam mendegradasi sampel karena kondisi organik pada lindi yang terlalu kompleks. Sedangkan aklimatisasi bertujuan untuk mendapatkan suatu kultur

mikroorganisme yang stabil dan mampu mendegradasi sumber organik yang hanya berasal dari lindi.

Pada proses *seeding dan aklimatisasi*, lindi dan lumpur dicampur di dalam reaktor serta diaerasi selama 40 hari sambil terus diaduk dan di aerasi. Sumber organik yang digunakan terdiri atas 30% lindi dan 70% sukrosa yang berasal dari gula pasir. Jumlah gula pasir yang digunakan sebanyak setengah sendok makan untuk setiap liter lumpur yang di aklimatisasi selama sepuluh hari pertama. Kemudian dilanjutkan dengan tahap aklimatisasi kedua dengan rasio lindi dan sukrosa 50 % - 50% selama 10 hari kedua.

Untuk menentukan waktu pengendapan, dilakukan *settleability solid test* pada akhir aklimatisasi tahap kedua, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Hasil Settleability Solid Test

Pada grafik didapatkan lamanya waktu pengendapan yaitu sebesar 400 menit (6 jam 40 menit) atau hampir dua kali lebih lama dibandingkan waktu pengendapan pada umumnya sebesar 2 hingga 3 jam. Hal ini dapat disebabkan oleh tidak sehatnya bakteri yang ditandai dengan kurang terbentuknya flok dan/atau bakteri kekurangan makanan.

Oleh karena itu, dilakukan aklimatisasi dengan menggunakan 100% air gula untuk menyetatkan bakteri selama 10 hari kemudian dilakukan settleability test kedua yang memperoleh hasil 175 menit atau kurang lebih 3 jam.

Selanjutnya dilakukan pengulangan proses aklimatisasi tahap 2 dengan rasio lindi dan gula sebesar 50 – 50 % selama 10 hari diikuti dengan aklimatisasi tahap 3 dengan rasio lindi dan gula sebesar 70 – 30 % selama 10 hari dan pada akhirnya dilakukan tahap 4 aklimatisasi dengan menggunakan 100% lindi selama 10 hari dikarenakan bakteri sudah dinilai dapat melakukan degradasi polutan yang terdapat pada lindi.

Sehingga total waktu yang digunakan untuk proses aklimatisasi yaitu selama 60 hari. Sedangkan waktu pengendapan yang diperlukan untuk satu kali siklus yaitu tiga jam.

4.3 Pre-treatment

Pre-treatment dilakukan sebelum lindi dimasukkan pada MBBR. *Pre-treatment* yang dilakukan pada penelitian kali ini berupa elektro-koagulasi menggunakan anoda Al dan elektro-oksidasi menggunakan anoda Pt yang masing-masing menggunakan arus sebesar 700 mA dan dilakukan selama enam jam.

Perbedaan yang signifikan antara kedua proses tersebut yaitu pada elektro-koagulasi, zat organik akan direduksi menjadi senyawa lebih kecil yang akan tersuspensi dan tertangkap oleh $Al(OH)_3$ yang pada akhirnya dapat mudah dihilangkan dengan sedimentasi sehingga apabila diaplikasikan pada MBBR, beban pengolahan biologis akan lebih kecil dibandingkan elektro-oksidasi (Ugurlu, 2014). Sedangkan pada elektro-oksidasi yang termasuk pengolahan elektrokimia metode konversi, zat organik akan dioksidasi menjadi zat lain yang lebih sederhana. Selain itu, berbeda dengan elektro-koagulasi, elektro-oksidasi menghasilkan sedikit lumpur (Mandal *et al.*, 2017). Karakteristik lindi hasil *pre-treatment* dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut; (tabel tersaji pada halaman berikutnya)

Tabel 4. 3 Hasil Analisis Awal Karakteristik Lindi

| Parameter | Satuan | Nilai | | |
|--------------------|--------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| Lindi | | Tanpa <i>Pre-treatment</i> | Elektro-oksidas | Elektro-koagulasi |
| COD | mg/L | 12000 | 8500 | 7000 |
| TKN | mg/L | 282.34 | 247.62 | 227.14 |
| NH ₄ -N | mg/L | 219.7 | 192 | 176 |
| NO ₃ -N | mg/L | 57 | 49 | 32.5 |
| NO ₂ -N | mg/L | 64.72 | 53.32 | 50.99 |
| TN | mg/L | 404.06 | 349.94 | 310.63 |
| COD/TN | - | 29.7 | 24.2 | 22.5 |
| BOD | mg/L | 360 | 340 | 280 |
| BOD/COD | - | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| pH | - | 8.73 | 8.62 | 8.26 |
| Salinitas | psu | 6.06 | 5.28 | 4.87 |

Sumber: Hasil Analisa

Kondisi optimal untuk proses elektro-oksidas menggunakan anoda Pt yaitu pada pH 4 (Sidik, 2019). Pada penelitian ini tidak dilakukan proses penyesuaian pH sehingga pada saat proses *pre-treatment* dilaksanakan, kondisi pH merupakan kondisi aktual dari lindi TPA Ngipik yaitu 8.73 (kondisi basa) yang merupakan kondisi optimum untuk proses elektro-koagulasi dengan menggunakan anoda Al (Yadav, 2017). Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa penurunan COD terbesar terjadi pada lindi setelah melalui proses elektro-koagulasi dengan anoda aluminium yaitu sebesar 40%.

Penurunan ammonium-nitrogen, nitrit-nitrogen, dan nitrat-nitrogen terjadi karena proses elektro-oksidas dan proses elektrodialisis melalui membran CEM dan AEM. Selama proses elektrodialisis berlangsung, ion positif (H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+) akan berpindah melalui CEM dan ion negatif (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , OH^-) berpindah melewati AEM. Menurut Vlyssides et al. (2001) bahwa keseimbangan nitrogen dipengaruhi oleh pH operasional. Pada pH asam akan terjadi oksidas senyawa amonium menjadi nitrat, nitrat menjadi nitrit sedangkan pada pH basa nilai recovery senyawa nitrat menurun.

Meski memiliki *percent removal* zat organik dan nitrogen yang lebih tinggi dari proses elektro-oksidasi, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kedua jenis *pre-treatment* pada proses biologis. Kriteria lindi pengolahan yang diterima untuk pengolahan biologis dapat dilihat dari rasio BOD₅/COD, rasio C/N, pH operasi dan komponen lain yang berpengaruh terhadap efisiensi pengolahan biologis.

Rasio BOD₅/COD dari masing-masing *pre-treatment* memiliki nilai 0.03; 0.04; dan 0.04 yang mana tidak memenuhi kriteria minimal untuk dilakukan proses pengolahan secara biologis yaitu sekurang-kurangnya bernilai 0.3 (Youcai, 2018).

Nilai pH penting untuk menciptakan kondisi yang mendukung metabolisme dari bakteri. Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa lindi efluen dari masing-masing *pre-treatment* mempunyai nilai 8.73; 8.62; dan 8.26 yang mana memenuhi kriteria nilai pH optimum untuk proses nitrifikasi (Shammas, 1986). Menurut Yadav 2017

Rasio C/N Pada dasarnya semua mikroorganismе memerlukan karbon sebagai sumber energi. Sedangkan nitrogen merupakan penyusun senyawa-senyawa penting dalam sel yang menentukan aktivitas pertumbuhan mikroorganismе (Al-Rekabi, 2015). Kedua unsur ini harus tersedia dalam rasio yang tepat agar tercapai pertumbuhan bakteri yang optimal. Rasio C/N ideal agar proses biologis dapat berjalan dengan baik yaitu sebesar 20 (Yadu *et al.*, 2018). Pada tabel dapat dilihat bahwa efluen dari proses elektro-koagulasi memiliki rasio C/N yang paling mendekati nilai C/N ideal yaitu sebesar 22.5.

4.4 Penelitian Utama

Penelitian utama berlangsung selama 10 hari di workshop Jurusan Teknik Lingkungan. Hal ini bertujuan agar cuaca hujan atau panas tidak mempengaruhi kondisi lindi di dalam reaktor MBBR selama pelaksanaan penelitian. Reaktor penelitian terdiri atas 9 buah reaktor yang terbagi menjadi 3x3 pasang reaktor.

Penelitian utama berupa pengolahan secara biologis menggunakan MBBR dengan media helix. Pengolahan biologis dipilih karena merupakan salah satu pengolahan yang optimum dalam mengolah lindi dengan konsentrasi nitrogen yang tinggi. Hal ini dikarenakan pengolahan biologis dengan tahap aerobik-anoksik mampu menciptakan proses nitrifikasi-denitrifikasi yang efisien dalam menurunkan nitrogen (Chen *et al.*, 2008).

Proses nitrifikasi adalah perubahan senyawa amonia menjadi nitrat sedangkan denitrifikasi adalah proses perubahan senyawa nitrat pada limbah menjadi gas nitrogen bebas sehingga nitrogen dapat diturunkan secara optimal (Sawyer *et al.*, 2003). Selain itu, beberapa hal yang dapat mengganggu pengolahan biologis seperti rasio BOD₅/COD lindi yang terlalu kecil dapat ditangani dengan penggunaan MBBR. Hal ini dikarenakan MBBR mampu mengolah limbah dalam kondisi ekstrim, contohnya limbah dengan rasio BOD₅/COD 0.2 (Robinson *et al.*, 2012). Hal ini sekaligus menjadi keunggulan MBBR sebagai teknologi pengolahan biologis advance dibandingkan dengan pengolahan biologis konvensional lainnya dimana pengolahan biologis konvensional membutuhkan rasio BOD₅/COD sebesar 0.5 (Hajipour *et al.*, 2011)

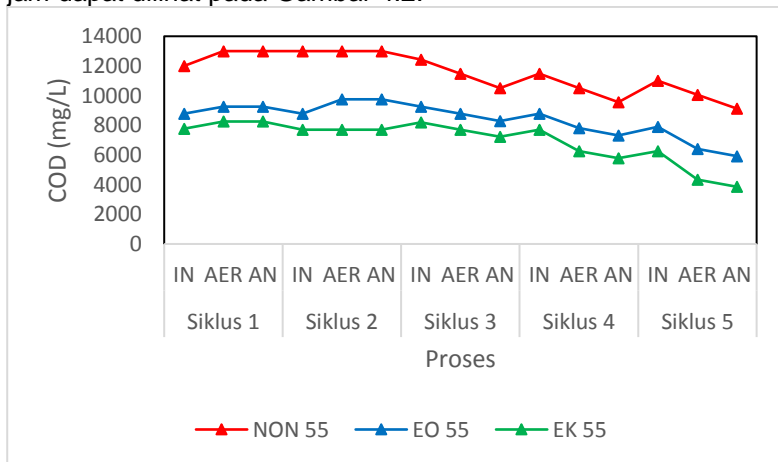
4.4.1 Analisis Zat Organik

Analisis zat organik yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis COD dan BOD₅. Analisis COD dilakukan setiap awal siklus (hari ke-0), setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik. Sedangkan untuk analisis BOD₅ dilakukan setiap awal siklus (hari ke-0) dan akhir siklus (hari ke-10). Analisis COD dilakukan dengan menggunakan metode close reflux dan analisis BOD₅ dilakukan dengan menggunakan metode winkler. Penyisihan zat organik didapatkan melalui proses degradasi oleh mikroorganisme yang dapat terjadi baik pada saat aerobik maupun anoksik. Pada kondisi aerobik, mikroorganisme memanfaatkan oksigen bebas sebagai oksidator sedangkan pada kondisi anoksik mikroorganisme menggunakan oksigen terlarut yang ada pada lindi. Mikroorganisme menggunakan zat organik pada lindi sebagai substrat bagi pertumbuhannya dengan cara asimilasi atau uptake sehingga terjadi penurunan zat organik pada lindi. Selain

membentuk sel-sel mikroorganismenya baru, mikroorganismenya juga menghasilkan gas CO₂ sebagai produk oksidasinya.

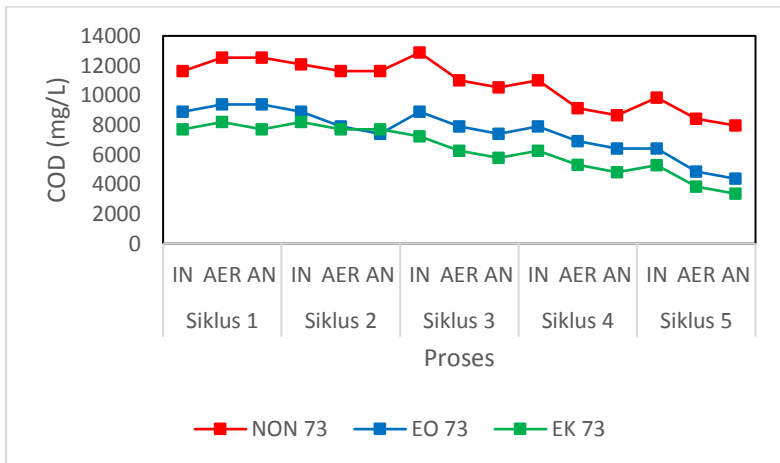
4.4.1.1 Hasil Penurunan Konsentrasi COD

COD merupakan parameter utama pada penelitian ini. Analisis COD bertujuan untuk mengetahui penurunan zat organik secara kimiawi di dalam reaktor MBBR. Analisis COD dilakukan setiap awal setiap siklus, setelah proses aerobik, dan setelah proses anoksik. Berdasarkan hasil analisis parameter COD, pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam penyisihan COD paling tinggi terjadi pada siklus ke lima yaitu pada hari ke 9 dan 10, dimana penyisihan COD pada lindi tanpa *pre-treatment*, lindi effluent proses elektro-oksidasinya, dan lindi effluent proses elektro-koagulasinya yaitu sebesar 24%, 30%, dan 45%. Peningkatan penyisihan COD terjadi sebanding dengan peningkatan waktu pengolahan di dalam reaktor. Namun pada siklus pertama dan kedua menunjukkan rendahnya penyisihan COD bahkan mencapai nilai negatif dan membuat konsentrasi COD bertambah besar. Hal ini dikarenakan adanya masa adaptasi bakteri dalam mengolah lindi sebagai substratnya. Persentase penyisihan konsentrasi COD untuk durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Perubahan Konsentrasi COD Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam

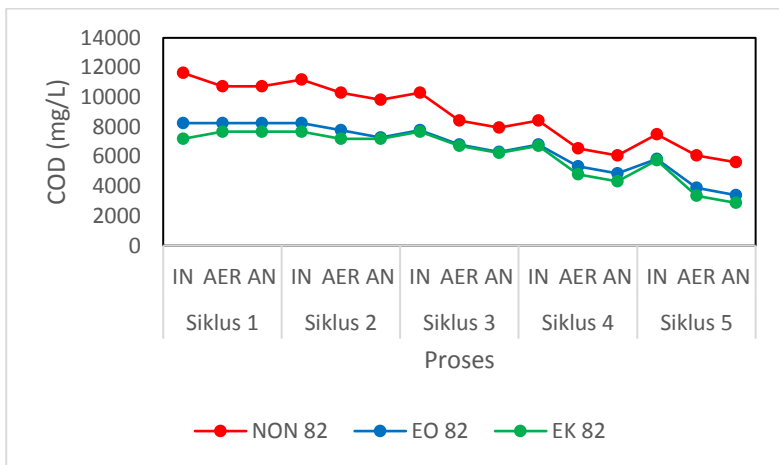
Pada durasi proses aerobik-anoksik 31,5-13,5 jam, penyisihan COD paling besar juga terjadi pada siklus ke lima dimana penyisihan COD pada lindi tanpa *pre-treatment*, lindi effluent proses elektro-oksidasi, dan lindi effluent proses elektro-koagulasi yaitu sebesar 34%, 49%, dan 52%. Sama seperti variasi durasi aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam, pada durasi aerobik-anoksik 31,5-13,5 jam terlihat peningkatan nilai konsentrasi COD yang disebabkan oleh adanya masa adaptasi bakteri dalam mengolah lindi sebagai substratnya. Namun pada siklus ketiga hingga kelima penurunan konsentrasi COD terjadi secara kontinyu. Perubahan konsentrasi COD pada durasi proses aerobik-anoksik 31,5-13,5 jam dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Perubahan Konsentrasi COD Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 jam

Hal yang sama juga terjadi pada reaktor dengan durasi aerobik-anoksik 36-9 jam. Pada durasi ini, penyisihan COD penyisihan COD paling besar terjadi pada siklus ke lima dimana penyisihan COD pada lindi tanpa *pre-treatment*, lindi effluent proses elektro-oksidasi, dan lindi effluent proses elektro-koagulasi masing-masing sebesar 53%, 60%, dan 63%. Sama seperti reaktor dengan durasi aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam, reaktor

dengan variasi aerobik-anoksik 36-9 jam ini menunjukkan tidak adanya penyisihan COD pada tahap awal siklus bahkan mencapai nilai 0%. Pada durasi ini terlihat bahwa peningkatan penyisihan COD dari tiap siklus menunjukkan hasil yang cukup tinggi dan cepat dibandingkan dengan durasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya durasi aerobik akan mempengaruhi peningkatan penyisihan COD pada sampel. Peningkatan penyisihan COD juga terlihat sebanding dengan lamanya waktu pengolahan. Penyisihan konsentrasi COD pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam dapat dilihat pada Gambar 4.4



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

Secara keseluruhan pada semua durasi proses terjadi penurunan konsentrasi COD yang cukup baik. Penurunan paling tinggi terjadi pada siklus kelima. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen terikat pada siklus terakhir sudah banyak sehingga oksidasi organik juga dapat dilakukan dengan optimum. Penyisihan COD paling baik terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam, sedangkan penyisihan COD paling rendah terjadi pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya durasi aerobik mampu meningkatkan penyisihan COD pada lindi.

4.4.1.2 Perhitungan Mass Balance COD

Mass balance COD dapat ditentukan berdasarkan perhitungan penyisihan konsentrasi organik pada lindi yang diubah menjadi sel-sel mikroorganisme melalui asimilasi dan pelepasan karbon menjadi gas CO₂. Pada perhitungan mass balance, akan terlihat penyisihan konsentrasi karbon baik pada saat proses aerobik maupun anoksik. Penyisihan konsentrasi COD pada masing-masing reaktor dapat dilihat ada Tabel

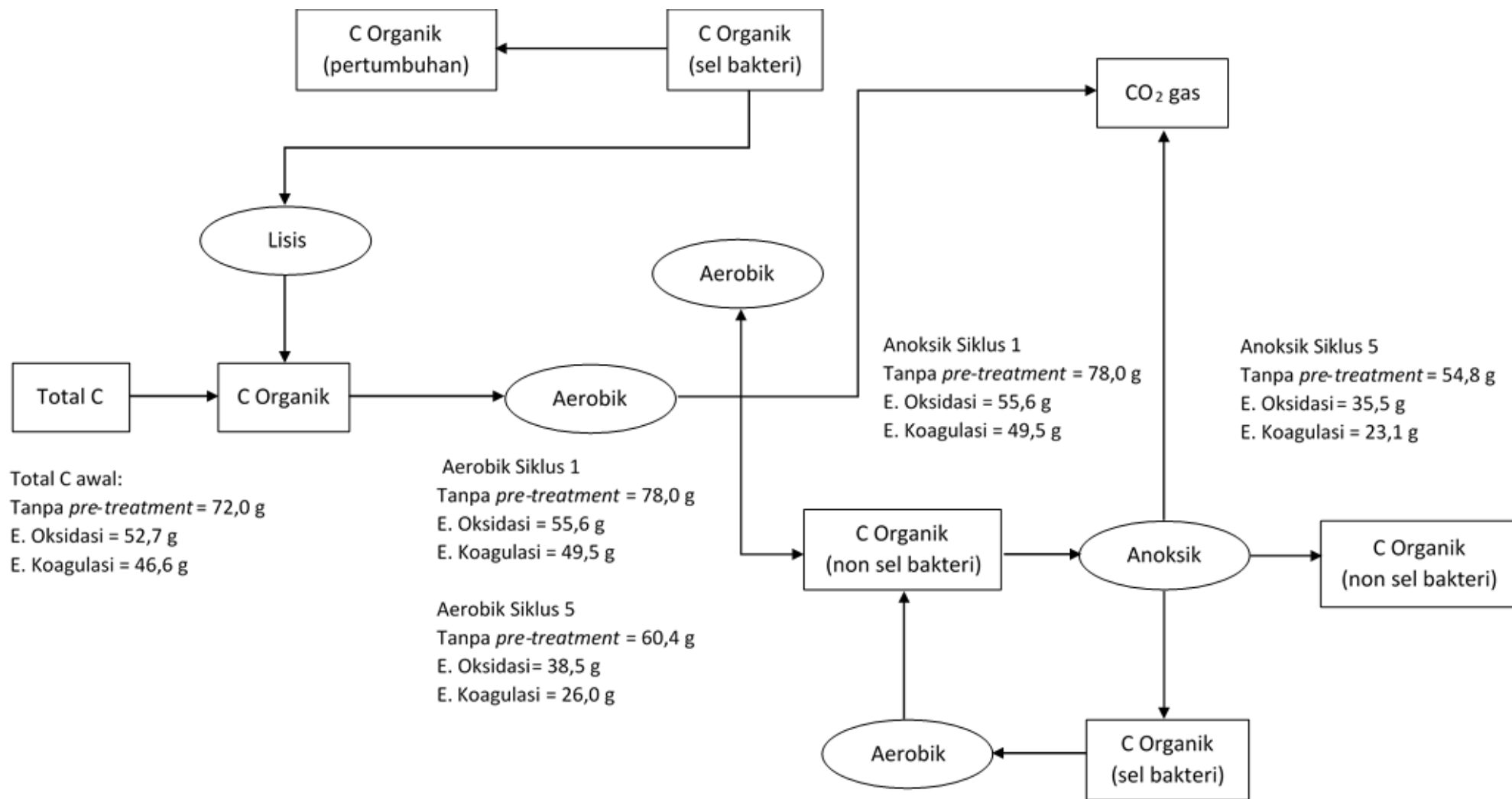
Tabel 4. 4 Penyisihan Konsentrasi COD pada Masing-Masing Reaktor

| Durasi (Jam) | Jenis <i>Pre-treatment</i> | Removal COD % |
|--------------|----------------------------|---------------|
| 22.5-22.5 | Tanpa <i>Pre-treatment</i> | 23.9% |
| | Elektro-oksidasi | 32.5% |
| | Elektro-koagulasi | 50.4% |
| 31.5-13.5 | Tanpa <i>Pre-treatment</i> | 31.6% |
| | Elektro-oksidasi | 50.8% |
| | Elektro-koagulasi | 56.4% |
| 36-9 | Tanpa <i>Pre-treatment</i> | 51.7% |
| | Elektro-oksidasi | 58.8% |
| | Elektro-koagulasi | 64.2% |

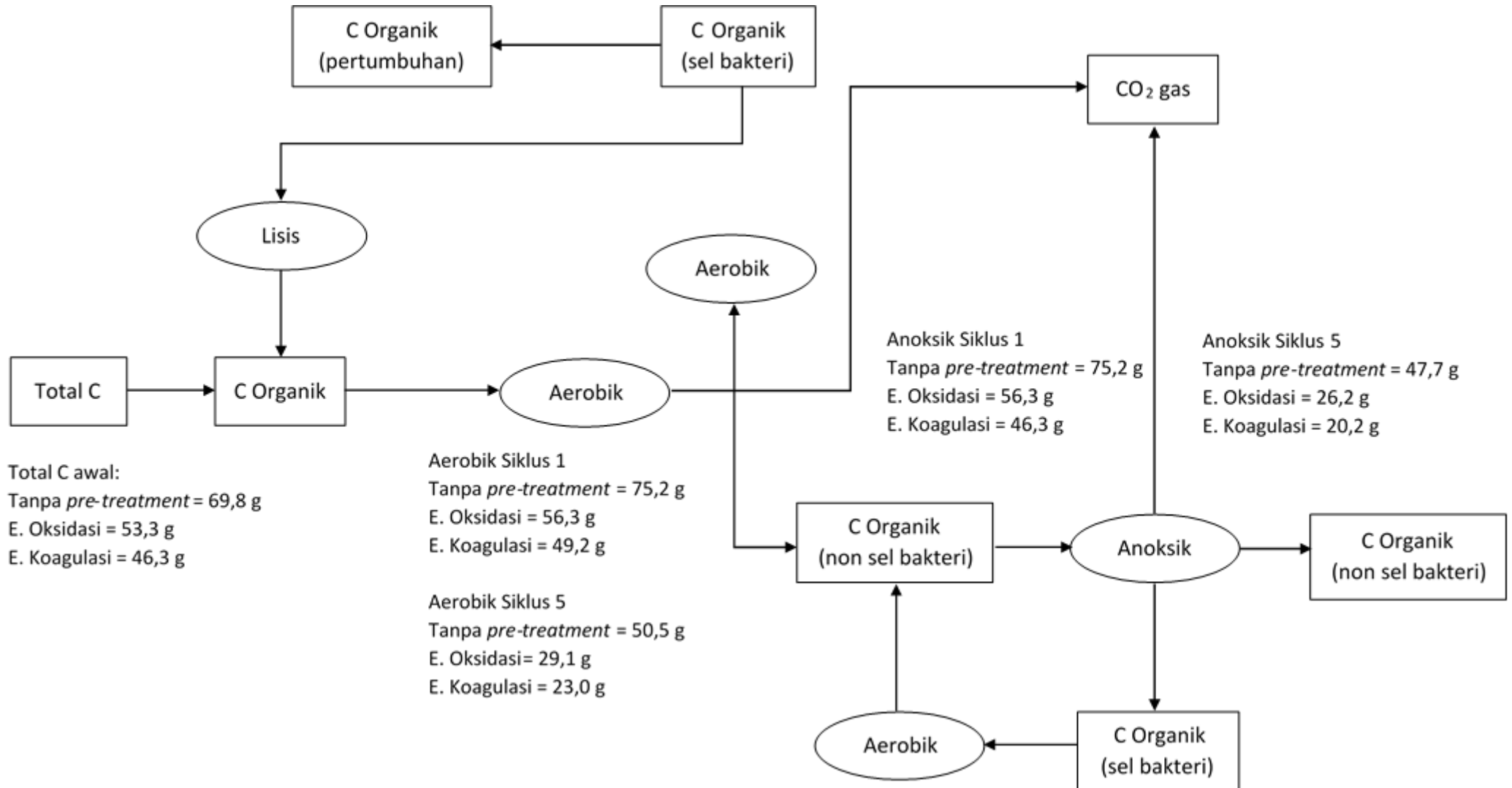
Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa pada variasi durasi proses aerobik-anoksik yang sama, persentase penyisihan konsentrasi COD tertinggi ada pada lindi dengan proses *pre-treatment* elektro-oksidasi menggunakan anoda aluminium. Sedangkan persentase penyisihan konsentrasi COD tertinggi, pada variasi *pre-treatment* yang sama, terdapat pada variasi durasi 36 jam aerobik dan 9 jam anoksik. Penurunan senyawa karbon disebabkan karena terjadi proses asimilasi mikroorganisme membentuk sel-sel baru, perubahan menjadi gas CO₂ sedangkan sisanya akan tetap menjadi zat organik non-sel di dalam lindi. Diagram mass balance COD dapat dilihat pada Gambar (gambar tersaji pada halaman berikutnya)

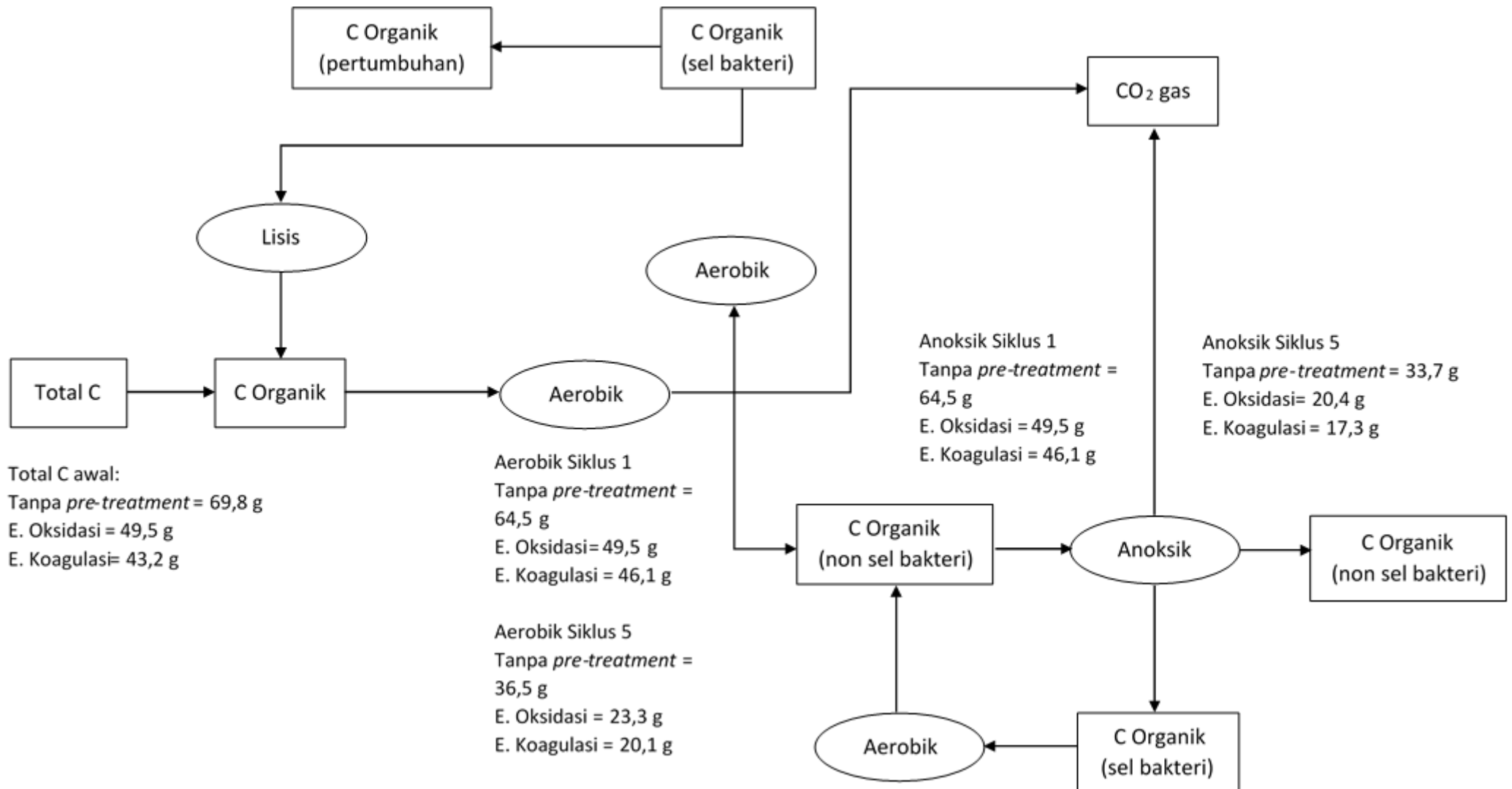
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 4. 5 Mass Balance COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam



Gambar 4. 6 Mass Balance COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam

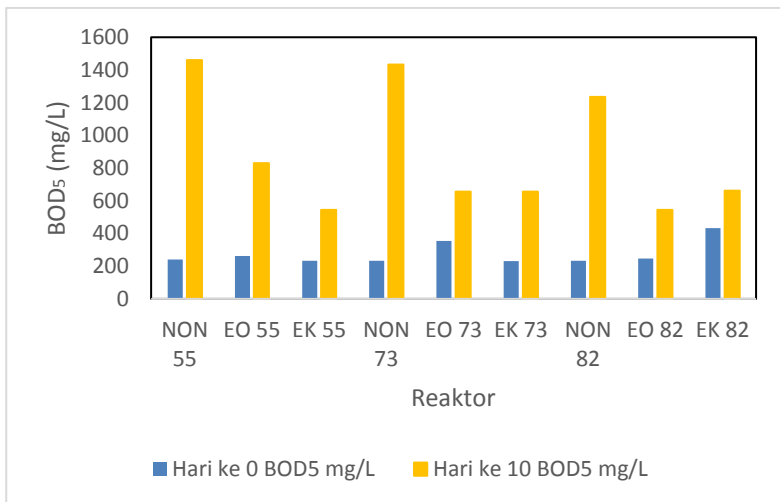


Gambar 4. 7 Mass Balance COD pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.4.2 Analisis BOD₅ dan BOD₅/COD

Analisis BOD₅ dilakukan pada saat awal siklus (hari ke 0) dan akhir siklus (hari ke 10). Hasilnya yaitu terjadi peningkatan nilai BOD₅ yang terkandung dalam lindi. Bertambahnya nilai BOD₅ yang diiringi dengan turunnya kadar COD membuair rasio BOD₅/COD dari lindi pun meningkat. Dimana pada awal siklus (hari ke 0) rentang rasio BOD₅/COD sebesar 0.03-0.06, pada akhir siklus (hari ke 10) menjadi 0.14-0.22. Hal ini berhubungan dengan karakteristik lindi yang umumnya memiliki rasio BOD₅/COD sangat rendah (Bhalla *et al.*, 2013). Sedangkan rasio BOD₅/COD pada sampel yang telah diolah menunjukkan adanya peningkatan, yang mana menunjukkan bahwa tingkat toksisitas sampel mengalami penurunan yang disebabkan oleh kenaikan tingkat biodegradabilitas sampel sehingga sampel akan lebih mudah didegradasi oleh mikroorganisme dibanding sebelum diolah. Konsentrasi BOD₅ pada hari ke 0 dan hari ke 10 pada masing-masing reaktor dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4. 8 Konsentrasi BOD₅ (mg/L) pada hari ke 0 dan ke 10 pada Setiap Reaktor

Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa terjadi peningkatan konsentrasi BOD₅ pada hari ke 10 penelitian. Hal ini disebabkan oleh transformasi COD yang terdegradasi menjadi BOD₅. Hasilnya, rasio BOD₅/COD tiap reaktor mengalami kenaikan rasio BOD₅/COD.

Tabel 4. 5 Rasio BOD/COD pada hari ke 0 dan ke 10 pada setiap reaktor

| REAKTOR | Hari ke 0 | | | Hari ke 10 | | |
|---------|-----------|---------|---------|------------|--------|---------|
| | BOD5 | COD | BOD/COD | BOD5 | COD | BOD/COD |
| | mg/L | mg/L | - | mg/L | mg/L | - |
| NON 55 | 240.00 | 12000 | 0.02 | 1460.16 | 9126 | 0.16 |
| EO 55 | 263.30 | 8776.8 | 0.03 | 829.25 | 5923.2 | 0.14 |
| EK 55 | 233.09 | 7769.6 | 0.03 | 543.87 | 3399.2 | 0.16 |
| NON 73 | 232.75 | 11637.6 | 0.02 | 1432.08 | 7956 | 0.18 |
| EO 73 | 355.39 | 8884.8 | 0.04 | 655.56 | 4370.4 | 0.15 |
| EK 73 | 231.36 | 7712 | 0.03 | 655.52 | 3856 | 0.17 |
| NON 82 | 232.75 | 11637.6 | 0.02 | 1235.52 | 5616 | 0.22 |
| EO 82 | 247.66 | 8255.2 | 0.03 | 543.87 | 3399.2 | 0.16 |
| EK 82 | 432.00 | 7200 | 0.06 | 661.85 | 2877.6 | 0.23 |

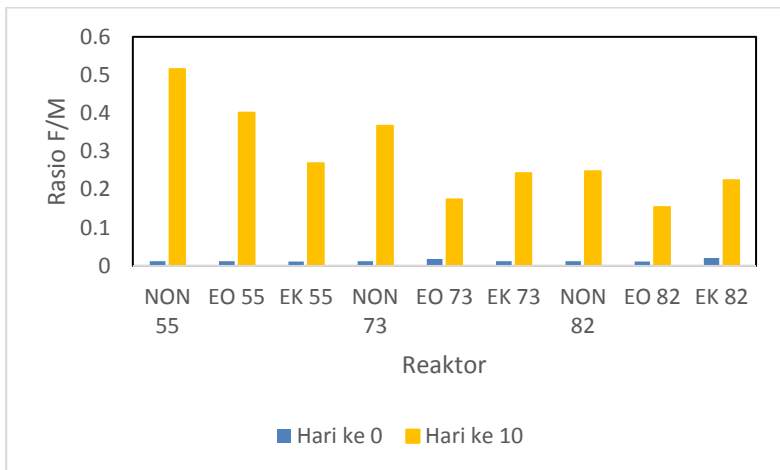
Rasio BOD₅/COD tiap reaktor naik dari 0.02-0.06 menjadi 0.14-0.23. Kenaikan ini merupakan output yang baik sebagai tanda bahwa terjadi perbaikan kualitas lindi pada MBBR. Akan tetapi nilai ini belum memenuhi nilai ideal untuk dilakukan pengolahan biologis yang membutuhkan rasio BOD₅/COD minimal 0.3 (Youcai, 2018).

4.4.3 Analisis Rasio F/M

Rasio F/M merupakan sebuah parameter proses yang digunakan untuk mendesain karakteristik proses dan keadaan operasi. Rasio F/M merupakan rasio substrat (BOD₅) dibagi dengan mikroorganisme (biomassa atau MLVSS).

Secara keseluruhan pada awal pengolahan, setiap reaktor memiliki rasio F/M yang rendah, hal ini menandakan bahwa mikroorganisme dalam kondisi “lapar” sehingga kemampuan

MBBR untuk mendegradasi polutan akan lebih optimal. Akan tetapi pada akhir pengolahan, rasio F/M mengalami peningkatan yang disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi BOD₅. Selain itu, peningkatan rasio F/M juga dapat disebabkan oleh penurunan jumlah mikroorganisme (MLVSS). Penurunan MLVSS dapat mengakibatkan kemampuan MBBR untuk mendegradasi zat organik juga ikut menurun. (Fitrahani *et al.*, 2012)



Gambar 4. 9 Rasio F/M hari ke 0 dan ke 10 pada Setiap Reaktor

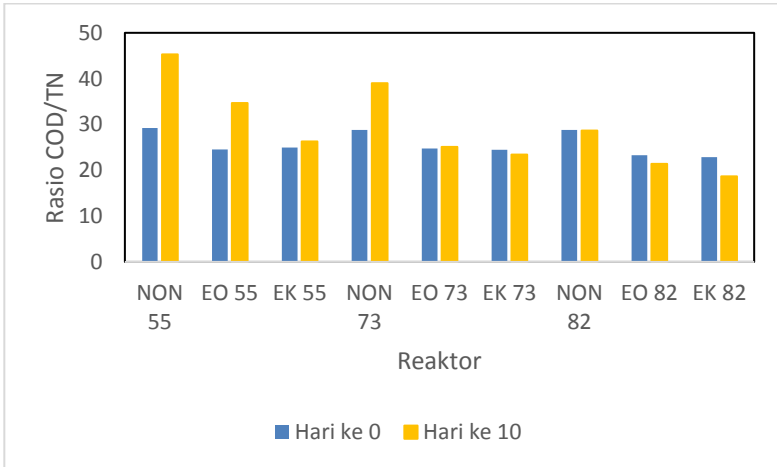
Meski mengalami kenaikan, nilai rasio F/M setiap reaktor masih berada pada batas minimum rasio F/M untuk proses biologis yaitu 0.04-1.0 (Metcalf and Eddy, 2014)

4.4.4 Analisis Rasio COD/TN

Salah satu factor yang mempengaruhi proses pengolahan biologis adalah ketersediaan nutrisi untuk biomassa. Nutrisi berpengaruh besar dalam proses sintesis, pertumbuhan sel, serta dalam aktivitas enzim yang dihasilkan bakteri dalam mendegradasi polutan. Beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan mikroorganisme adalah karbon dan nitrogen (Fitriyani, 2014).

Pada dasarnya semua mikroorganisme memerlukan karbon sebagai sumber energy. Sedangkan nitrogen merupakan

penyusun senyawa-senyawa penting dalam sel yang menentukan aktivitas pertumbuhan mikroorganisme (Al-Rekabi, 2015). Kedua unsur ini harus tersedia dalam rasio yang tepat agar tercapai pertumbuhan bakteri yang optimal.



Gambar 4. 10 Rasio COD/TN hari ke 0 dan ke 10 pada Setiap Reaktor

Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa secara keseluruhan pada setiap reaktor terjadi penurunan rasio COD/TN. Hal ini menunjukkan bahwa unsur karbon dan bahan organik lainnya yang telah didekomposisi oleh biomassa.

Beberapa penelitian yang mengaplikasikan proses aerobik di dalam pengolahan biologis menunjukkan bahwa rasio COD/TN optimum untuk proses biodegradasi adalah 20 (Fu *et al.*, 2009). Sehingga, pada penelitian ini dinyatakan bahwa rasio COD/TN nya tidak memenuhi kondisi optimum.

4.4.5 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrogen

Analisis nitrogen yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis amonium-nitrogen, nitrat-nitrogen, nitrit-nitrogen dan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Analisis amonium-nitrogen, nitrat-nitrogen dan nitrit-nitrogen dilakukan setiap awal siklus, setelah proses aerobik

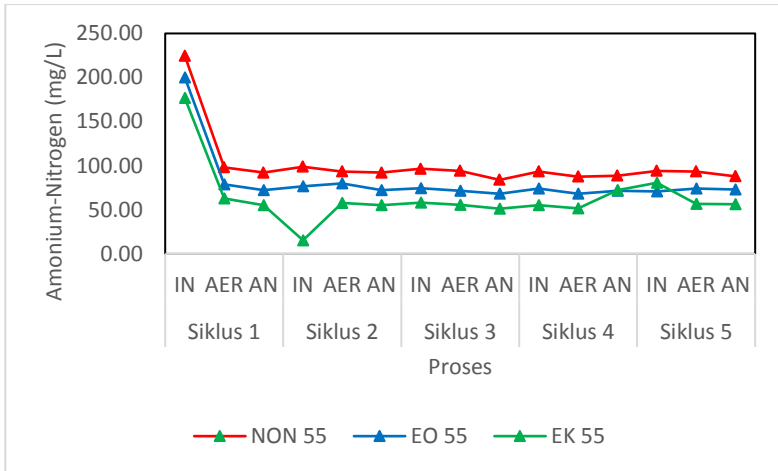
dan setelah proses anoksik. Sedangkan untuk analisis TKN hanya dilakukan pada siklus pertama dan siklus kelima (hari ke 0 dan hari ke 10). Analisis amonium-nitrogen dilakukan dengan menggunakan metode *Nessler*, analisis nitrat-nitrogen dilakukan dengan menggunakan metode *Brucine Acetat*, analisis nitrit-nitrogen dengan menggunakan metode NED dan analisis TKN dilakukan menggunakan tabung Kjeldahl.

Penyisihan total nitrogen sebagai amonium-nitrogen, nitrat-nitrogen, dan nitrit-nitrogen didapatkan melalui proses aerobik dan anoksik. Pada kondisi aerobik akan terjadi proses nitrifikasi dimana amonium akan diubah menjadi nitrat melalui senyawa perantara nitrit. Sedangkan pada kondisi anoksik, nitrat yang telah dihasilkan pada kondisi aerobik akan mengalami denitrifikasi menjadi gas nitrogen bebas. Selain proses nitrifikasi-denitrifikasi, penurunan nitrogen juga dapat diakibatkan oleh pengambilan senyawa nitrogen untuk proses pembentukan sel mikroorganisme (asimilasi) pada kedua kondisi tersebut.

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

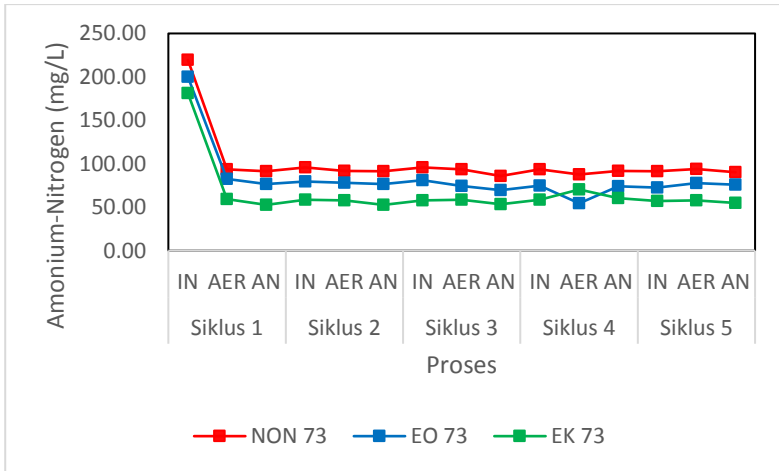
Penurunan konsentrasi amonium dapat terjadi pada proses aerobik dan anoksik. Namun yang paling berpengaruh pada penurunan kadar amonium-nitrogen adalah adanya proses nitrifikasi yang terjadi pada kondisi aerobik. Sedangkan sebagian lainnya, penurunan amonium-nitrogen diakibatkan karena adanya *uptake* oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan sel (asimilasi) (Aljumriana, 2015). Secara umum, pada ketiga variasi waktu pengolahan terjadi penurunan konsentrasi amonium-nitrogen yang cukup signifikan yaitu lebih dari 50%.

Pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam, penurunan amonium paling besar terjadi pada siklus ke-1. Sedangkan pada siklus ke2-5 mengalami penurunan yang stagnan. Grafik degradasi penguraian amonium nitrogen dapat dilihat pada Gambar 4.9s



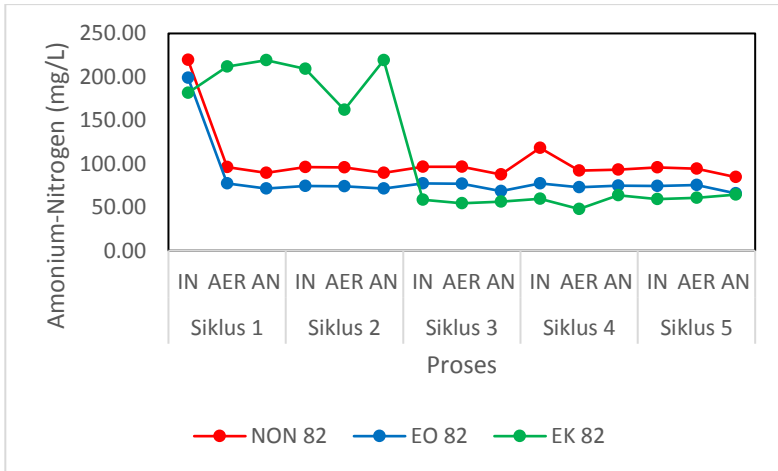
Gambar 4. 11 Perubahan Konsentrasi Amonium-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam

Pada durasi proses aerobik-anoksik 31.5-13.5 jam, penurunan amonium paling signifikan terjadi pada siklus ke-1. Pada siklus 2-5 effluent tanpa *pre-treatment* mengalami nilai penurunan yang stagnan. Sedangkan pada effluent elektro-oksidasi terjadi penurunan kembali pada proses aerob siklus ke-4. Begitu sebaliknya pada effluent elektro-koagulasi siklus ke-4 yang mengalami kenaikan. Grafik penurunan amonium pada durasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4. 12 Perubahan Konsentrasi Amonium-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 jam

Sedangkan pada durasi proses aerobik-anoksik 31,5-13,5 jam, penurunan konsentrasi amonium signifikan terjadi pada siklus ke-1. Sedangkan pada effluent elektro-koagulasi penurunan konsentrasi amonim secara signifikan terjadi pada siklus ke-2. Marsidi dan Herlambang (2002) menyampaikan bahwa adanya penurunan parameter amonium nitrogen dapat terjadi karena adanya proses yang mengoksidasi amonium menjadi nitrat. Hal ini dipengaruhi oleh suplai oksigen (aerator). Grafik penurunan konsentrasi amonium pada durasi 36-9 jam dapat dilihat pada Gambar 4.11

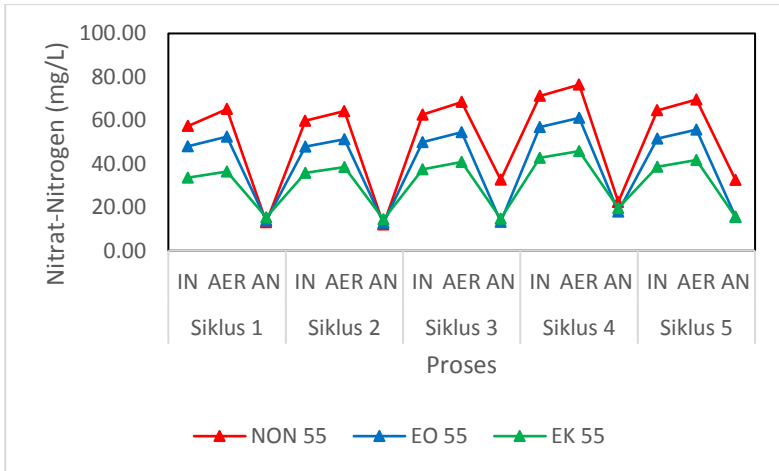


Gambar 4. 13 Perubahan Konsentrasi Amonium-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

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

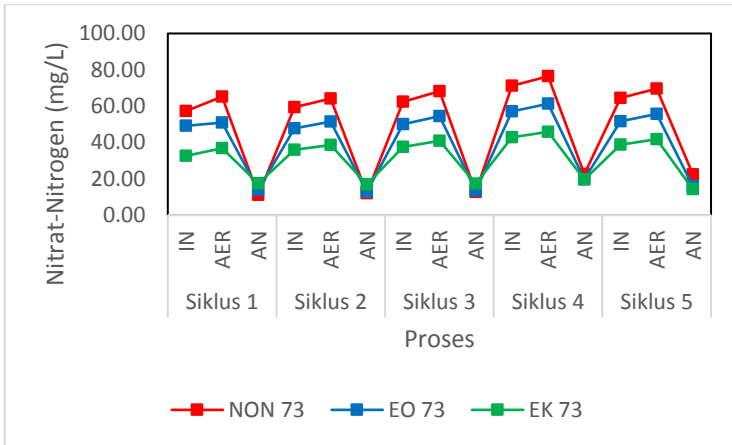
Penurunan konsentrasi nitrat-nitrogen disebabkan karena adanya proses denitrifikasi pada kondisi anoksik. Di dalam reaktor MBBR, kondisi anoksik terjadi setelah kondisi aerobik berlangsung dengan mematikan aerator di dalam reaktor. Kondisi aerobik tersebut dilakukan untuk mempersiapkan kecukupan oksigen terikat yang dibutuhkan pada proses anoksik.

Penurunan nitrat-nitrogen pada durasi aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam mengalami penurunan yang segaris sesuai adanya perlakuan intermitten pada reaktor MBBR. Grafik penurunan nitrat pada reaktor MBBR durasi 22,5-22,5 jam dapat dilihat pada Gambar 4.12 (gambar tersaji pada halaman berikutnya)



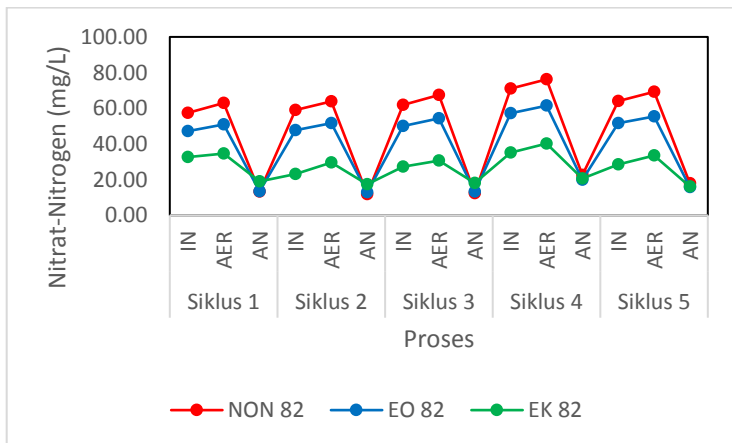
Gambar 4. 14 Perubahan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 Jam

Penurunan nitrat pada durasi aerobik-anoksik 31,5-13,5 jam juga terjadi signifikan pada siklus ke-5. Perlakuan intermitten pada reaktor MBBR berupa siklus dapat memberikan nutrient yang baru untuk mikroba agar mendapatkan nutrien yang cukup. Penurunan nitrat terjadi karena adanya proses denitrifikasi, dimana nitrat diubah oleh bakteri pseudomonas denitrificant menjadi gas nitrogen (Sawyer et al., 2013). Grafik penurunan nitrat pada siklus ini dapat dilihat pada Gambar 4.13 (tersaji pada halaman berikutnya).



Gambar 4. 15 Perubahan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 Jam

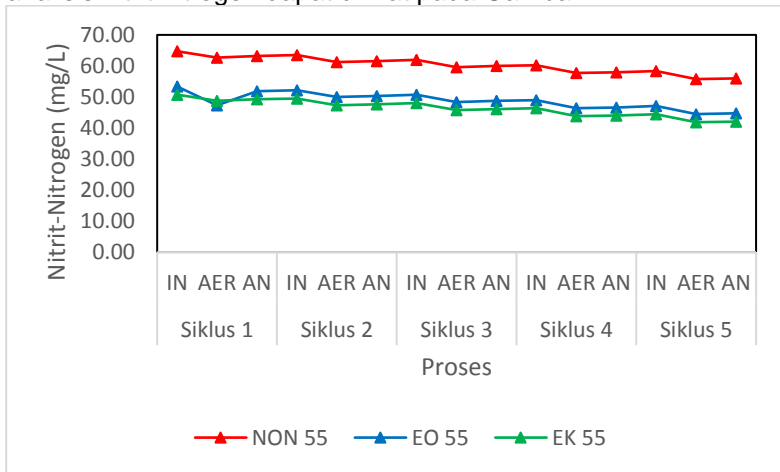
Sama halnya dengan durasi sebelumnya, pada durasi terlama proses aerob-anoksik penelitian ini juga menghasilkan penurunan nitrat pada siklus ke-5. Grafik penurunan nitrat pada siklus ini dapat dilihat pada Gambar 4.14 (tersaji pada halaman berikutnya).



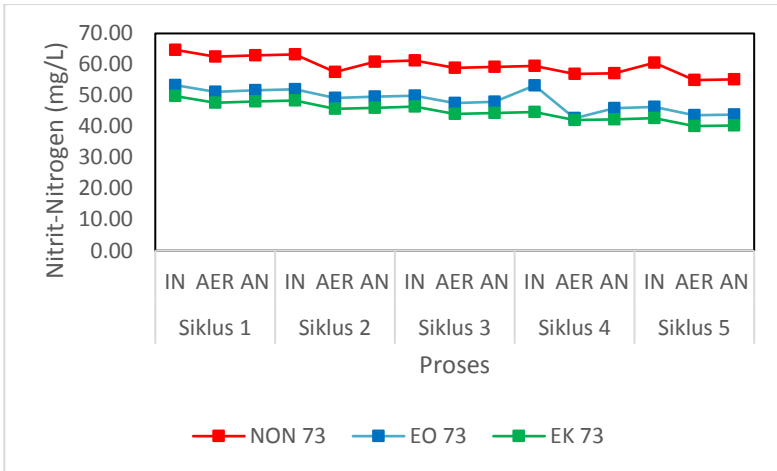
Gambar 4. 16 Penyisihan Konsentrasi Nitrat-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 Jam

4.4.5.3 Hasil Penurunan Konsentrasi Nitrit-Nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$)

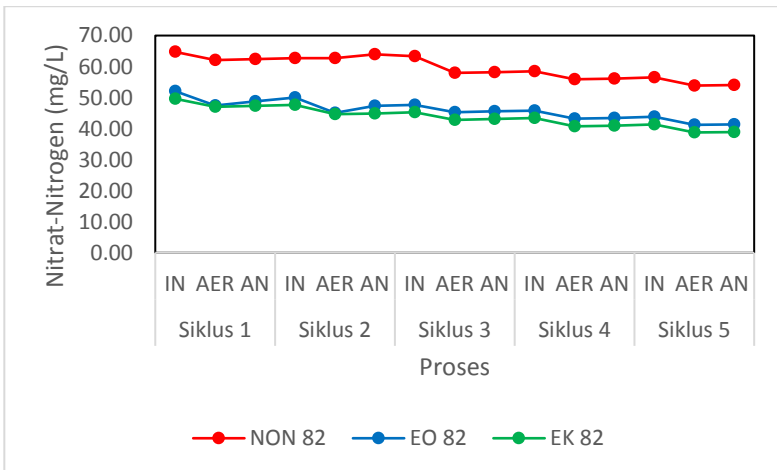
Nitrit merupakan fase transisi dari perubahan amonium menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi. Pada penelitian ini parameter nitrit-nitrogen menjadi salah satu parameter tambahan untuk memastikan berlangsungnya proses nitrifikasi di dalam reaktor MBBR. Analisis nitrit-nitrogen dilakukan bersamaan dengan analisis amonium-nitrogen dan nitrat-nitrogen untuk memastikan terjadinya kondisi aerobik-anoksik pada reaktor MBBR. Sehingga pengambilan sampel analisis untuk nitrit-nitrogen dilakukan pada saat awal (hari ke-0), setelah proses aerobik dan setelah anoksik. Hasil analisis nitrit-nitrogen ditunjukkan melalui tren konsentrasi nitrit di dalam reaktor MBBR karena penyisihan nitrit akan berjalan seiring dengan amonium-nitrogen ataupun nitrat-nitrogen. Hasil analisis nitrit-nitrogen dapat dilihat pada Gambar



Gambar 4. 17 Perubahan Konsentrasi Nitrit-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 Jam



Gambar 4. 18 Perubahan Konsentrasi Nitrit-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 Jam



Gambar 4. 19 Perubahan Konsentrasi Nitrit-Nitrogen Setiap Siklus pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 Jam

4.4.5.4 Perhitungan *Mass Balance Nitrogen*

Mass balance nitrogen dapat ditentukan berdasarkan perhitungan penyisihan konsentrasi nitrogen yang meliputi perhitungan ammonium-nitrogen, nitrat-nitrogen dan nitrit-nitrogen. Pada perhitungan mass balance, akan terlihat penyisihan konsentrasi nitrogen baik pada saat proses aerobik maupun anoksik.

Pada kondisi aerobik, penyisihan amonium-nitrogen terjadi karena adanya proses nitrifikasi. Proses nitrifikasi tersebut akan mengubah amonium-nitrogen menjadi nitrat-nitrogen. Selain itu, terjadi pula proses asimilasi oleh sel bakteri untuk pertumbuhan (uptake). Proses aerobik, perubahan amonium-nitrogen oleh nitrifikasi, dan perubahan amonium-nitrogen oleh asimilasi masing-masing ditunjukkan oleh siklus (2) dan (3). Pada kondisi anoksik terdapat proses annamox yaitu interaksi antara nitrit dan ammonium dengan bantuan bakteri untuk melepaskan nitrogen. Proses annamox ini ditunjukkan oleh siklus (1). Penyisihan nitrat-nitrogen terjadi karena adanya proses denitrifikasi yang mengubah nitrat-nitrogen menjadi N_2 gas dengan memanfaatkan bakteri. Proses denitrifikasi tersebut ditunjukkan oleh siklus (5). Selain itu, sama halnya pada kondisi aerobik, bakteri juga melakukan asimilasi untuk pertumbuhan pada saat anoksik.

Dari perhitungan mass balance dapat diketahui besarnya nitrogen yang tersisihkan dari masing-masing proses. Persen removal nitrogen dari masing-masing proses dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Persen Removal Nitrogen dari Masing-Masing Proses

| Reaktor | Nitrifikasi | Denitrifikasi | Uptake aerobic | Uptake anoxic | Annamox | Total | Loss |
|---------|-------------|---------------|----------------|---------------|---------|--------|--------|
| NON 55 | 38.01% | 70.57% | 10.36% | 2.14% | 3.3% | 86.32% | 13.68% |
| EO 55 | 38.09% | 72.65% | 11.48% | 1.84% | 3.8% | 89.81% | 10.19% |
| EK 55 | 44.84% | 70.53% | 16.99% | 2.53% | 4.8% | 94.80% | 5.20% |
| NON 73 | 34.49% | 71.90% | 7.31% | 1.55% | 3.5% | 84.26% | 15.74% |
| EO 73 | 36.87% | 71.33% | 10.82% | 1.90% | 4.1% | 88.19% | 11.81% |
| EK 73 | 47.46% | 71.70% | 17.83% | 2.80% | 5.1% | 97.47% | 2.53% |
| NON 82 | 39.10% | 74.73% | 12.58% | 1.51% | 3.7% | 92.49% | 7.51% |
| EO 82 | 40.36% | 74.44% | 13.41% | 1.89% | 4.6% | 94.35% | 5.65% |
| EK 82 | 49.19% | 64.62% | 0.00% | 3.47% | 6.7% | 74.81% | 25.19% |

Keterangan:

NON = Lindi tanpa melalui proses *pre-treatment*

EO = Lindi efluen proses elektro-oksidasi

EK = Lindi efluen proses elektro-koagulasi

55 = Variasi 22.5-22.5 jam aerobik-anoksik

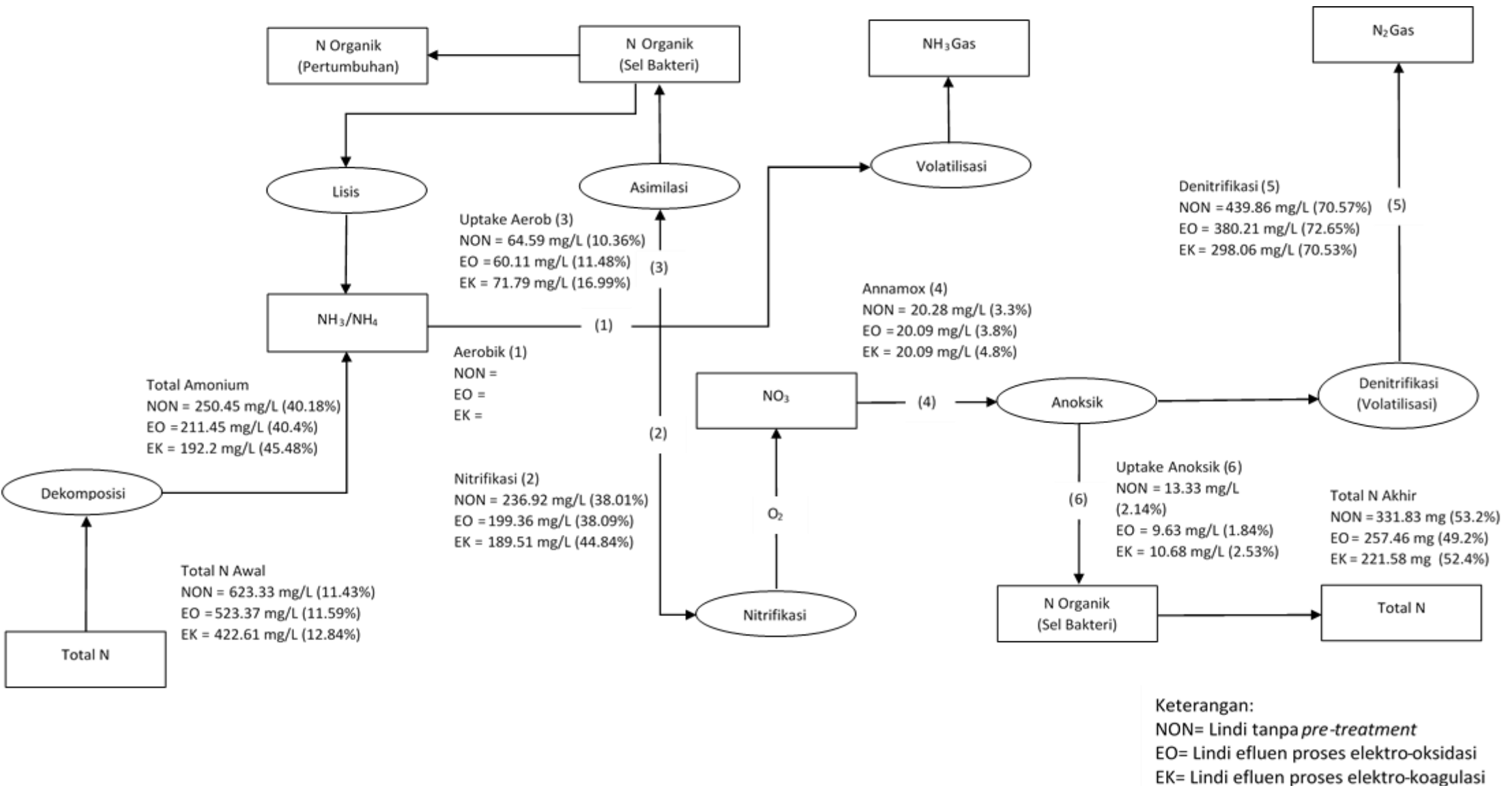
73 = Variasi 31.5-13.5 jam aerobik-anoksik

82 = Variasi 36-9 jam aerobik-anoksik

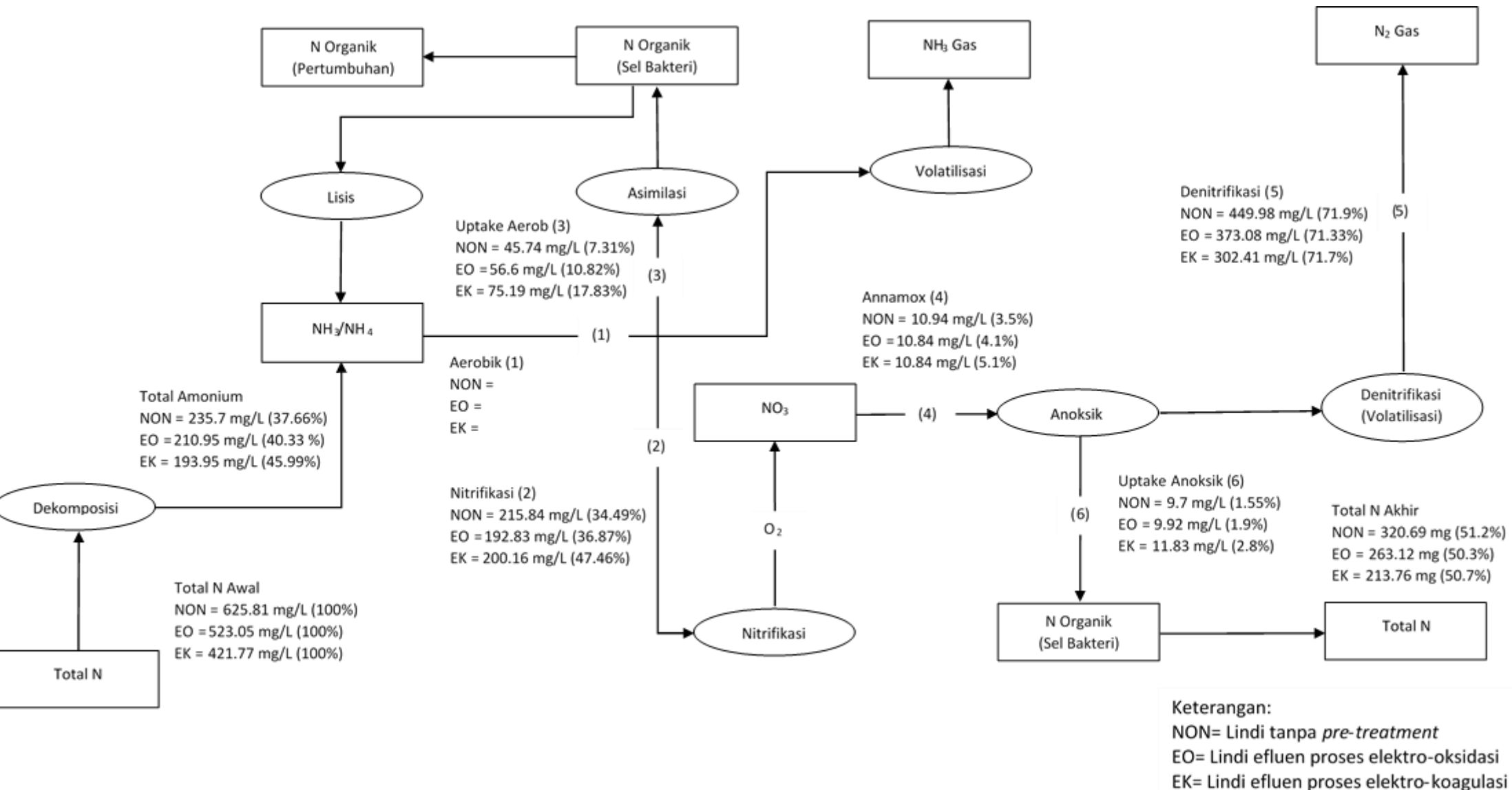
Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa kemampuan mendegradasi nitrogen dengan proses nitrifikasi paling besar terjadi pada lindi dengan *pre-treatment* elektro-koagulasi pada durasi proses aerobik-anoksik 36-9 jam yaitu mencapai 49.19% akan tetapi pada denitrifikasi, variasi ini mempunyai persen removal paling rendah diantara sembilan reaktor yang diuji dimana hanya mencapai 64.62%. Sedangkan untuk proses denitrifikasi antara satu reaktor dengan yang lainnya telah mencapai remova rata-rata hingga 70%.

Dalam perhitungan mass balance ini terdapat pula nitrogen yang hilang tanpa melalui salah-satu proses tersebut. Hal ini dapat disebabkan oleh kemungkinan adanya kandungan nitrogen yang terdapat pada lumpur maupun kesalahan hitung.

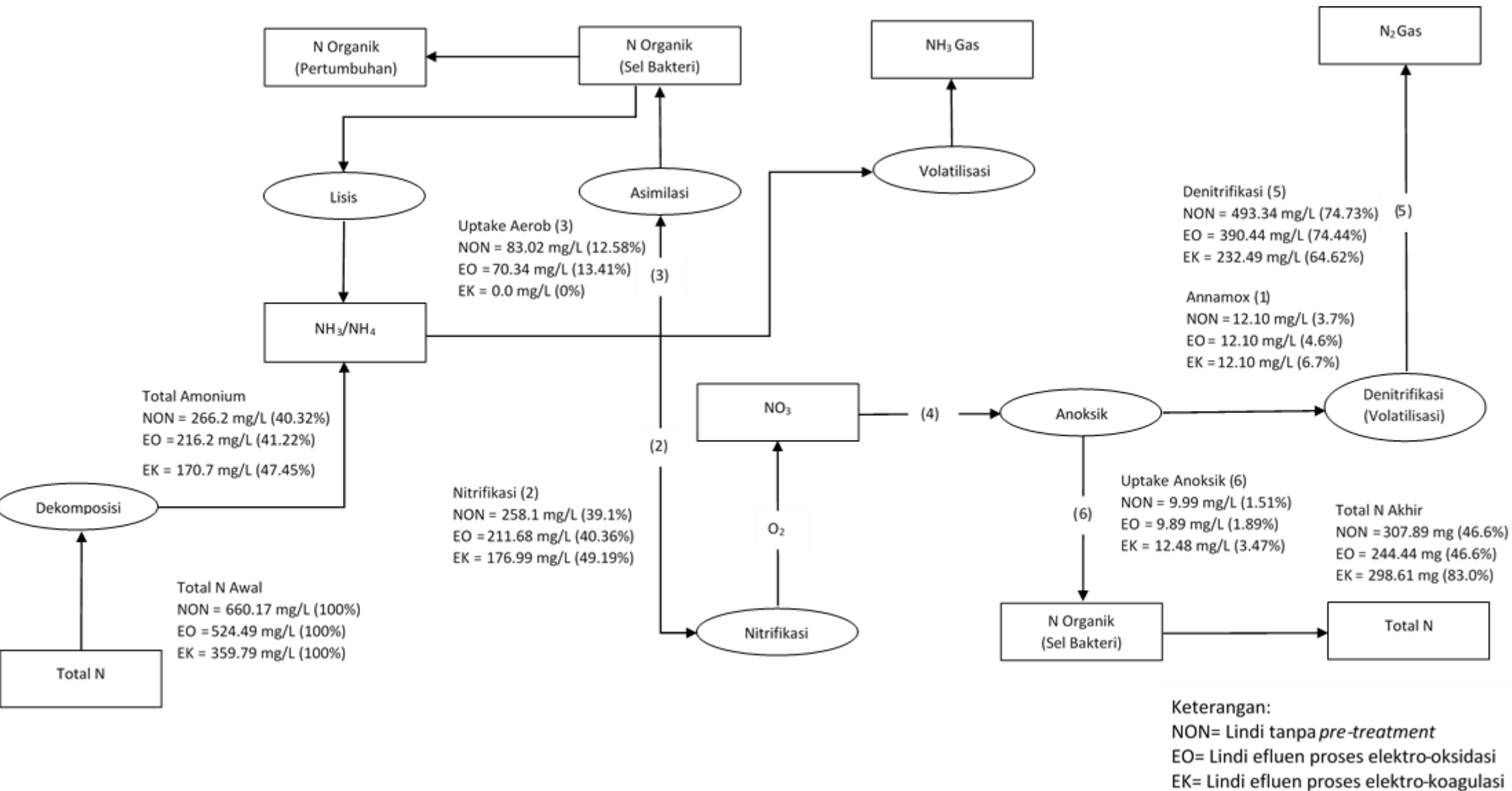
Skema mass balance untuk masing-masing variasi durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Gambar 4.20 hingga Gambar 4.23 (gambar tersaji pada halaman berikutnya)



Gambar 4. 20 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam



Gambar 4. 21 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam



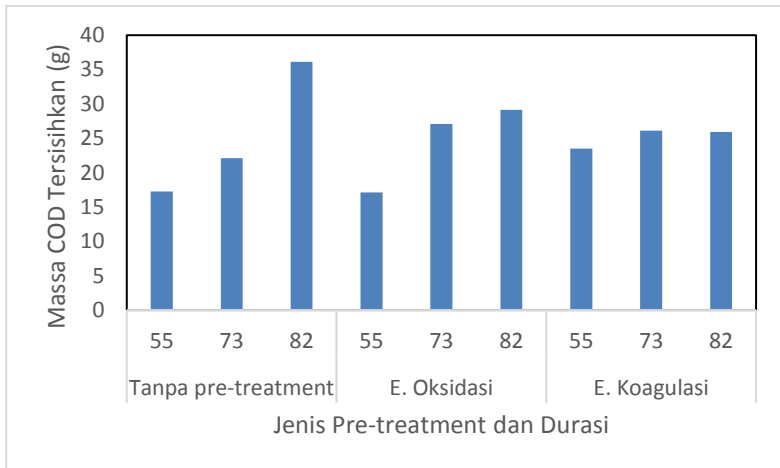
Gambar 4. 22 Mass Balance Nitrogen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.4.6 Pengaruh Durasi Proses Aerobik-Anoksik dan Jenis pre-treatment terhadap Proses MBBR

Pada penelitian ini dikaji pengaruh durasi proses aerobik-anoksik dan jenis pre-treatment dalam mengolah lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Dua parameter yang akan dilihat yaitu dalam penurunan COD (organic) dan penurunan konsentrasi TN (nitrogen).

Berikut ini merupakan grafik yang menampilkan massa COD tersisih pada setiap mbbbr:



Gambar 4. 23 Massa COD Tersisih pada setiap MBBR

Berdasarkan gambar diatas, terlihat bahwa jenis pre-treatment tidak terlalu berpengaruh pada penyisihan COD pada MBBR dikarenakan pada masing-masing variasi durasi proses aerobik-anoksik yang sama (22.5-22.5 jam, 31.5-13.5 jam, dan 36-9 jam) massa penyisihan COD oleh MBBR cenderung sama.

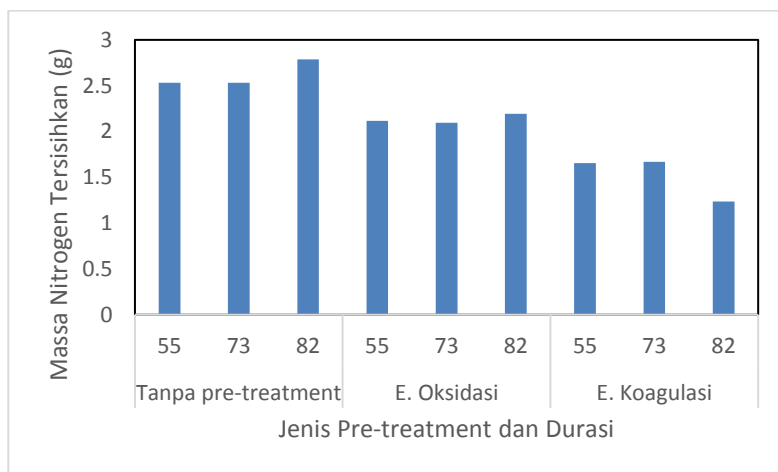
Sehingga dapat dilihat bahwa pada reaktor penelitian berkapasitas 6 liter lindi dan pada jumlah siklus yang sama yaitu 10 hari didapatkan hasil penurunan COD lebih dari 15 gram.

Dimana dapat disimpulkan bahwa pada variasi pre-treatment yang sama (tanpa pre-treatment, elektro-oksidasi dengan anoda Pt, dan elektro-oksidasi dengan anoda Al) massa penyisihan COD tertinggi terjadi pada variasi durasi dengan waktu aerobik terbesar yaitu variasi 82 (36 jam proses aerobik dan 9 jam proses anoksik).

Hal ini disebabkan karena degradasi organik terjadi karena interaksi antara polutan organik dengan oksigen sehingga semakin lama proses aerobik dilakukan, semakin banyak reaksi yang terjadi sehingga penurunan COD semakin besar. Penyisihan COD (organik) terbesar terjadi pada lindi tanpa pre-treatment dengan durasi aerobik 36 jam dan anoksik 9 jam.

Berbeda dengan polutan organik yang sebagian besar terjadi pada saat aerobik, pada MBBR, nitrogen disisihkan melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang mana masing-masing membutuhkan kondisi aerobik (untuk nitrifikasi) dan anoksik (untuk denitrifikasi).

Berikut ini merupakan grafik yang menampilkan massa Total Nitrogen tersisih pada setiap mbbrr:



Gambar 4. 24 Massa TN Tersisih pada setiap MBBR

Sesuai dengan Gambar 2. 24 terlihat bahwa variasi durasi aerobik-anoksik tidak terlalu berpengaruh pada penyisihan total nitrogen dikarenakan pada masing-masing variasi pre-treatment yang sama (tanpa pre-treatment, elektro-oksidasi dengan anoda Pt, dan elektro-oksidasi dengan anoda Al) massa penyisihan TN oleh MBBR cenderung sama. Sementara pada variasi durasi proses aerobik-anoksik yang sama (22.5-22.5 jam, 31.5-13.5 jam, dan 36-

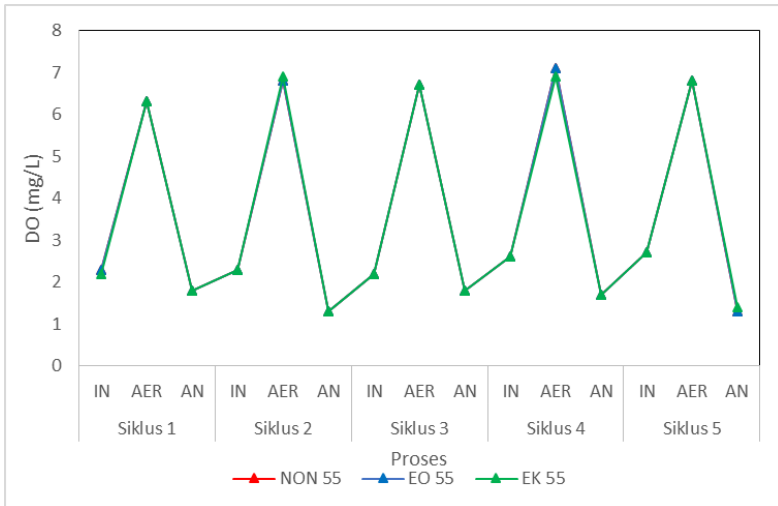
9 jam), penyisihan massa TN (nitrogen) terbesar terjadi pada lindi tanpa pre-treatment.

4.4.7 Analisis Dissolved Oxygen

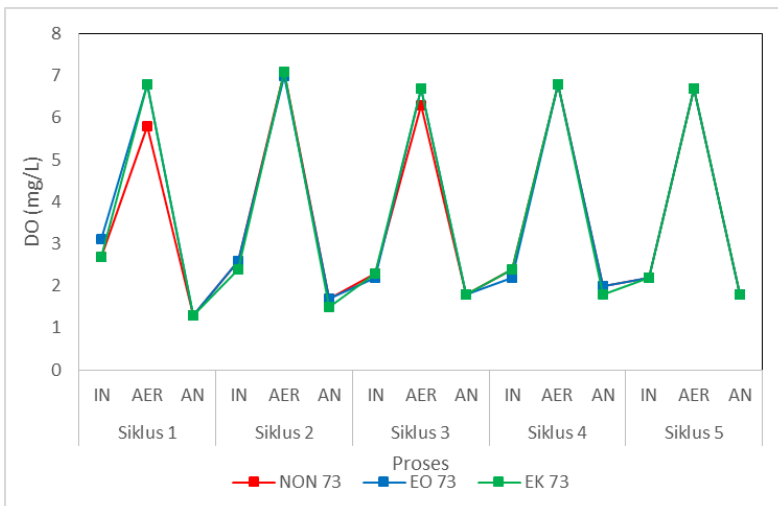
Analisis Dissolved Oxygen (DO) dilakukan pada setiap fase aerobik dan anoksik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kecukupan oksigen di dalam reaktor serta memastikan proses yang terjadi di dalam reaktor. Kondisi aerobik ditandai dengan kecukupan konsentrasi DO > 2 mg/L (Al-Rekabi, 2015). Hal tersebut dikarenakan pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi yang salah satu faktornya dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen terlarut sehingga ketersediaan oksigen harus mencukupi bahkan berlebih.

Ketersediaan oksigen yang berlebih sangat dibutuhkan karena mikroorganisme cenderung akan mengoksidasi senyawa karbon dibanding nitrogen, sehingga proses nitrifikasi hanya dapat dilakukan apabila konsentrasi oksigen untuk kebutuhan penyisihan karbon sudah terpenuhi. Sedangkan kondisi anoksik adalah kondisi perantara antara aerobik dan anaerobik. Kondisi anoksik ditandai dengan jumlah konsentrasi DO < 2 mg/L (Al-Rekabi, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa oksigen yang ada pada kondisi anoksik merupakan oksigen terikat, bukan oksigen bebas seperti pada fase aerobik. Kadar DO yang demikian mengakibatkan terjadinya proses denitrifikasi pada kondisi anoksik.

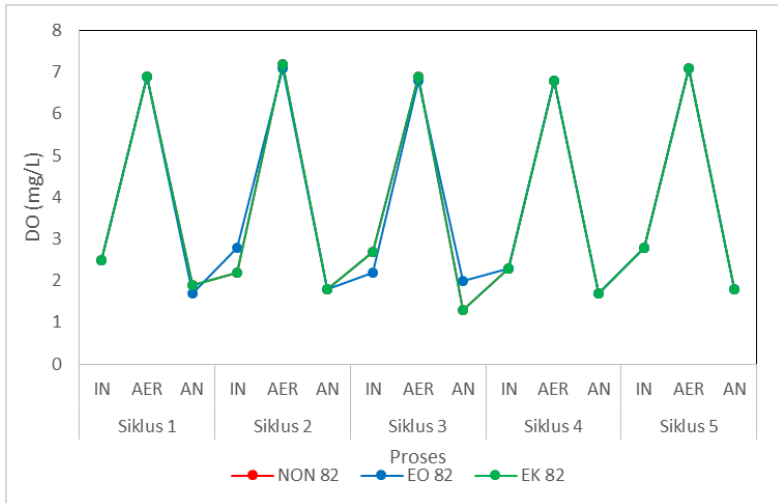
Pengukuran DO dilakukan menggunakan DO meter. Hasil analisis DO pada durasi proses aerobik-anoksik 22,5-22,5 jam dapat dilihat pada Gambar 4.18. (Gambar tersaji pada halaman berikutnya)



Gambar 4. 25 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22,5-22,5 jam



Gambar 4. 26 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31,5-13,5 jam



Gambar 4. 27 Hasil Analisis Dissolved Oxygen pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

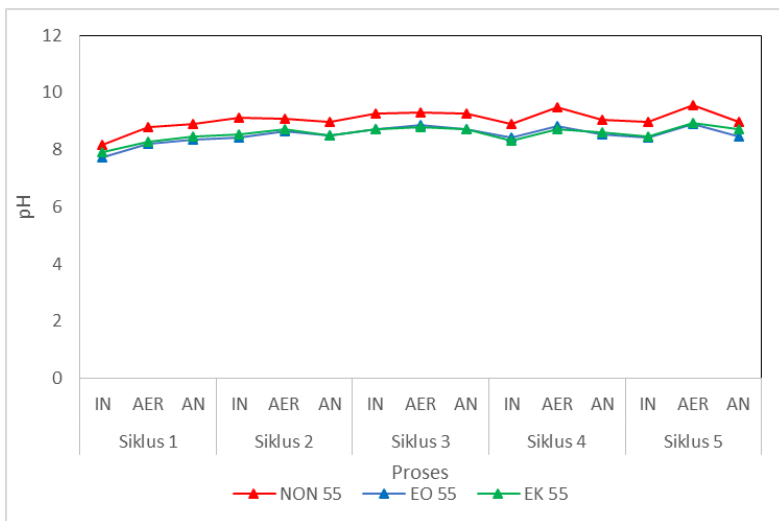
Berdasarkan hasil analisis, konsentrasi DO pada kondisi aerobik yaitu sebesar 6,3 mg/L-7,2 mg/L. Konsentrasi DO paling rendah terjadi pada siklus aerobik pertama. Hal ini dikarenakan reaktor baru dioperasikan sehingga oksigen terlarut yang tersedia masih sedikit. Tetapi secara keseluruhan konsentrasi oksigen terlarut pada proses aerobik masih berada pada kondisi ideal untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi, dengan rata-rata konsentrasi DO pada kondisi aerobik yaitu 6,57 mg/L. Pada kondisi anoksik konsentrasi DO berada pada rentang 1,3 mg/L - 2 mg/L, dengan rata-rata konsentrasi DO yaitu 1,4 mg/L.

4.4.8 Analisis pH

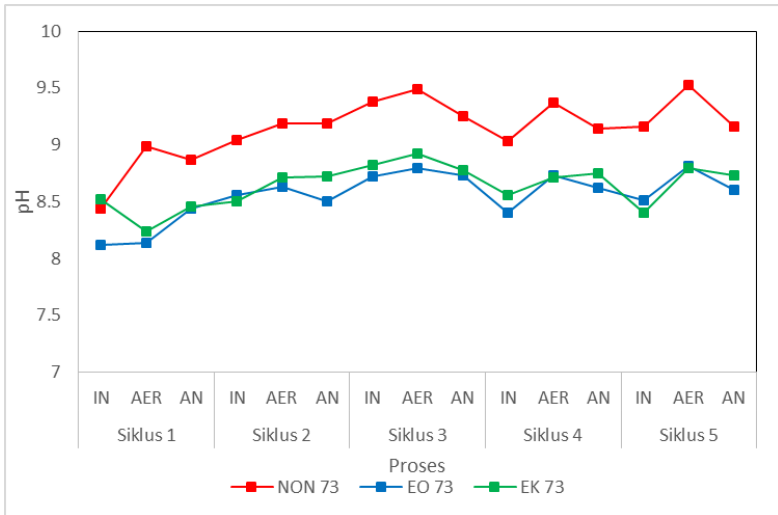
pH merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui apakah proses yang terjadi di dalam reaktor sudah berada pada pH optimum untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Umumnya nitrifikasi berlangsung optimal pada pH 7,7-8,9 dan akan berhenti pada pH 5-5,5 (Shammas, 1986). Mikroorganisme yang berperan dalam nitrifikasi

yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. pH optimum untuk *Nitrosomonas* berkisar antara 7,5-8,5 dan pH optimum untuk *Nitrobacter* yaitu 8,3-9,3. Sedangkan pH paling efektif untuk proses denitrifikasi berkisar antara 7-8,5.

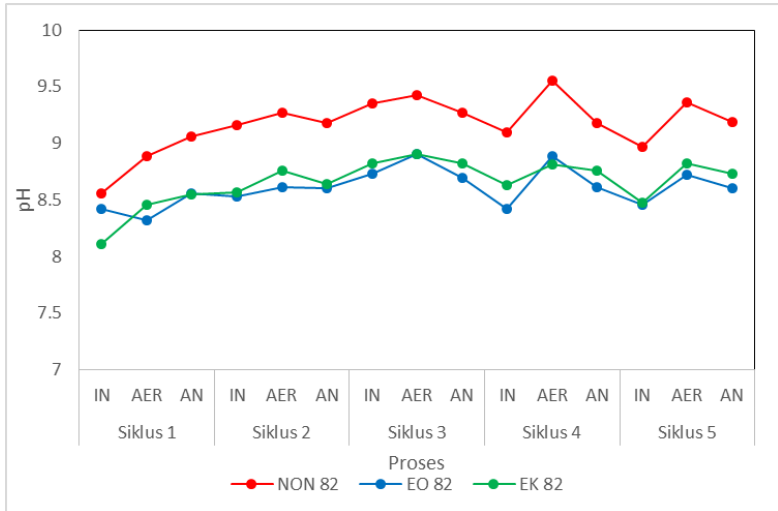
Berdasarkan hasil pengukuran pH pada ketiga variasi durasi proses, secara umum semua reaktor pada setiap durasi proses berada pada rentang pH optimum untuk nitrifikasi. Sedangkan hanya siklus pertama dan kedua saja yang memenuhi kondisi pH ideal untuk proses denitrifikasi. Penurunan nilai pH menunjukkan adanya peningkatan kualitas lindi dan berkurangnya nilai toksik di dalam lindi. Nilai pH pada setiap durasi proses aerobik-anoksik dapat dilihat pada Gambar berikut;



Gambar 4. 28 Nilai pH pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam



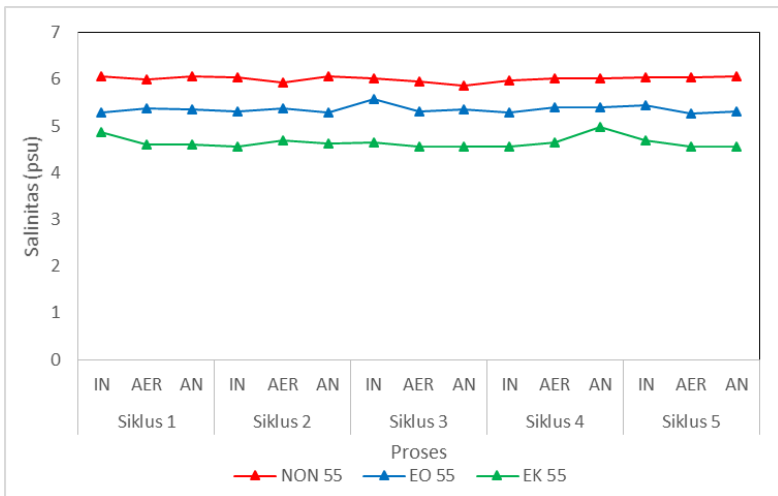
Gambar 4. 29 Nilai pH pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam



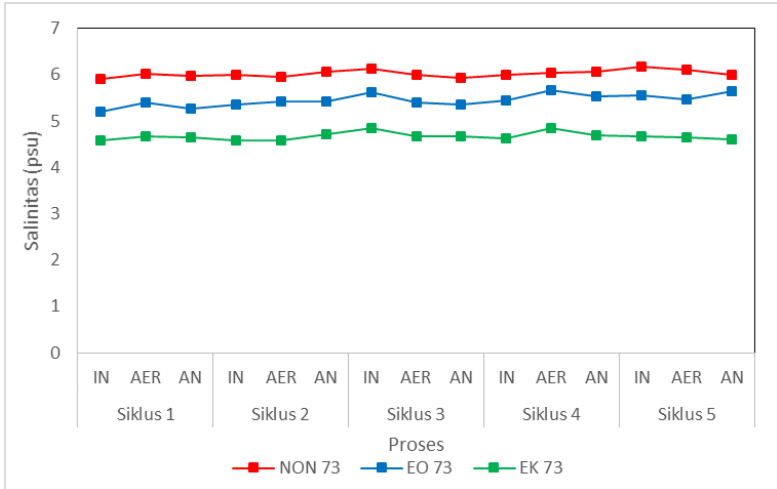
Gambar 4. 30 Nilai pH pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

4.4.9 Analisis Salinitas

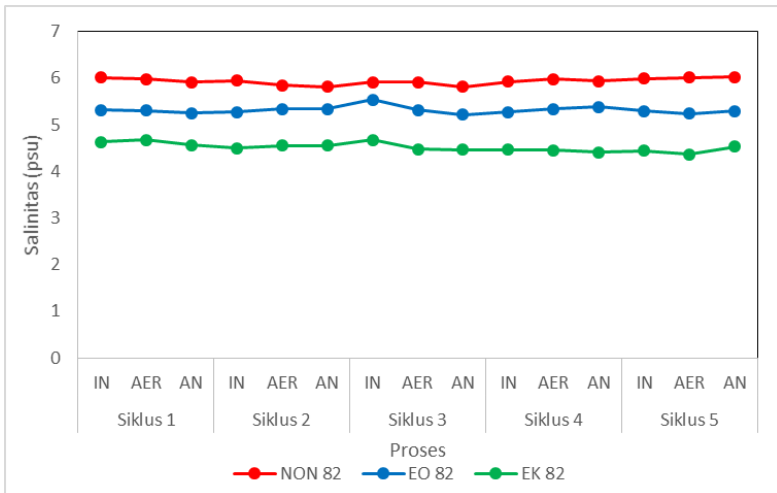
Salinitas merupakan parameter tambahan di dalam penelitian ini. Pengukuran salinitas dengan menggunakan *pH onlab-EC 10*. Nilai salinitas di semua durasi proses aerobik-anoksik menunjukkan nilai yang hampir sama untuk setiap reaktor, dimana semakin tinggi konsentrasi lindi maka salinitas akan semakin tinggi. Hasil pengukuran salinitas pada setiap reaktor yaitu berkisar antara 4,1 -6,11 yang mana tergolong dalam kategori jenis air payau (Han, *et. al.*, 2014). Hasil pengukuran salinitas untuk semua durasi proses dapat dilihat pada Gambar berikut;



Gambar 4. 31 Nilai Salinitas pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 22.5-22.5 jam

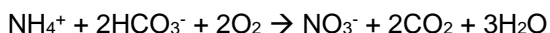


Gambar 4. 32 Nilai Salinitas pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 31.5-13.5 jam



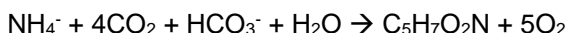
Gambar 4. 33 Nilai Salinitas pada Durasi Proses Aerobik-Anoksik 36-9 jam

Penurunan nilai salinitas pada setiap variasi durasi pre-treatment disebabkan karena berkurangnya jumlah dari ion-ion yang mempengaruhi salinitas. Beberapa contoh ion tersebut adalah klorida, karbonat, bikarbonat, sulfat, natrium, kalsium, magnesium dan garam mineral lainnya. Salah satu ion yang sangat berpengaruh pada penurunan nilai salinitas lindi adalah ion bikarbonat. Ion bikarbonat dapat teroksidasi bersama dengan amonium dalam proses nitrifikasi. Reaksi oksidasi tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut.



(Riffat, 2013)

Tidak hanya proses oksidasi, penurunan ion bikarbonat juga dapat diakibatkan karena adanya proses pembentukan atau sintesis sel mikroorganisme baru selama proses pengolahan berlangsung di dalam reaktor MBBR. Hal ini ditunjukkan melalui persamaan berikut.



(Riffat, 2013)

4.4.10 Perbandingan Lindi Efluen MBBR dengan Baku Mutu

Perbandingan baku mutu lindi menurut Permen PU Nomor 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga yang tertera pada Tabel 2.4 dengan hasil analisa efluen MBBR diperoleh data seperti berikut:

Tabel 4. 7 Perbandingan Lindi Efluen MBBR dengan Baku Mutu

| | pH | COD | BOD ₅ | Nitrit | Nitrat | Total N |
|------------------|--------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Baku Mutu | 6 - 9 | 300 | 150 | 3 | 30 | 60 |
| Reaktor | - | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L |
| NON 55 | 9.0 | 9126.0 | 1460.2 | 56.0 | 32.6 | 201.6 |
| EO 55 | 8.5 | 5923.2 | 829.2 | 44.7 | 15.7 | 170.9 |

| | | | | | | |
|--------|-----|--------|--------|------|------|-------|
| EK 55 | 8.7 | 3856.0 | 543.9 | 42.1 | 15.5 | 146.8 |
| NON 73 | 9.2 | 7956.0 | 1432.1 | 55.2 | 22.4 | 203.9 |
| EO 73 | 8.6 | 4370.4 | 655.6 | 43.9 | 15.8 | 173.9 |
| EK 73 | 8.7 | 3360.0 | 655.5 | 40.4 | 14.2 | 143.4 |
| NON 82 | 9.2 | 5616.0 | 1235.5 | 54.0 | 17.9 | 195.8 |
| EO 82 | 8.6 | 3399.2 | 543.9 | 41.4 | 15.7 | 158.9 |
| EK 82 | 8.7 | 2877.6 | 661.8 | 38.9 | 16.1 | 154.0 |

Keterangan:

- = Memenuhi baku mutu
- NON = Lindi tanpa melalui proses *pre-treatment*
- EO = Lindi efluen proses elektro-oksidasi
- EK = Lindi efluen proses elektro-koagulasi
- 55 = Variasi 22.5-22.5 jam aerobik-anoksik
- 73 = Variasi 31.5-13.5 jam aerobik-anoksik
- 82 = Variasi 36-9 jam aerobik-anoksik

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa untuk kesembilan variasi jenis *pre-treatment* dan durasi proses aerobik-anoksik pada penelitian ini masih belum memenuhi baku mutu untuk parameter Total N, COD, BOD₅, dan Nitrit. Tingkat efisiensi pengolahan MBBR semakin menurun dikarenakan adanya beban yang besar (Aygun *et al.*, 2008)

pH awal lindi TPA Ngipik yaitu 8.7 sehingga setelah melalui MBBR yang mana tidak terlalu menimbulkan perubahan pH yang signifikan, dapat dikatakan bahwa efluen sebagian besar telah memenuhi baku mutu.

Untuk parameter nitrat dikarenakan kandungan awal dari lindi TPA Ngipik sudah termauk rendah yaitu 57 mg/L, maka efluen dari kesembilan variasi jenis *pre-treatment* dan durasi proses aerobik-anoksik pada penelitian ini telah memenuhi baku mutu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah;

1. Pengaruh durasi proses aerobik-anoksik dalam mengolah lindi menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yaitu pada variasi *pre-treatment* lindi yang sama (tanpa *pre-treatment*, elektro-oksidasi dengan anoda Pt, dan elektro-oksidasi dengan anoda Al) massa penyisihan COD tertinggi terjadi pada variasi 82 (36 jam proses aerobik dan 9 jam proses anoksik). Sedangkan untuk penyisihan massa nitrogen, variasi durasi tidak mempunyai pengaruh yang signifikan.
2. Pengaruh jenis *pre-treatment* terhadap penurunan polutan pada lindi dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reaktor* (MBBR) yaitu pada variasi durasi proses aerobik-anoksik yang sama (22.5-22.5 jam, 31.5-13.5 jam, dan 36-9 jam), massa penyisihan nitrogen tertinggi terjadi pada variasi lindi tanpa *pre-treatment*. Sedangkan untuk penyisihan massa COD, variasi jenis *pre-treatment* tidak mempunyai pengaruh yang signifikan.

5.2 Saran

Berikut adalah saran dari penelitian yang telah dilakukan;

1. Disarankan untuk melakukan penambahan jumlah siklus untuk mengetahui penurunan polutan secara maksimal.
2. Disarankan untuk melakukan penambahan variasi durasi aerobik-anoksik untuk mengetahui penurunan polutan secara maksimal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C. Y. 2015. Pengaruh tegangan listrik dan penambahan konsentrasi NaCl terhadap proses elektrolisis lindi. *Tugas Akhir Teknik Lingkungan FTSP ITS*.
- Afdal, A., Sari, R. N. 2017. Karakteristik lindi dari Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA) Air Dingin, Kota Padang, Sumatera Barat. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya); Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*
- Agustina, F. (2017). Proses Oksidasi Elektrokimia pada Lindi dengan Menggunakan Anoda Boron Doped Diamond (BDD) dengan Penambahan Ion Klorida dan Sulfat. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS*.
- Aljumriana. 2015. Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Pada Proses Aerobik-Anoksik. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS*.
- Al-Rekabi, W. S. 2015. Mechanisms of Nutrient Removal in Moving Bed Biofilm Reactors. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(1), 497-517.
- Alvarez-Vazquez, H., Jefferson, B., Judd, S. 2004. Membrane bioreactors vs conventional biological treatment of landfill leachate: *A brief review*. (Vol. 79).
- Anglada, Á., Urtiaga, A., Ortiz, I., Mantzavinos, D., Diamadopoulou E. 2011. Boron-doped diamond anodic treatment of landfill leachate: Evaluation of operating variables and formation of oxidation by-products. *Water Research*, 45(2), 828–838.
- Aygun, A., Nas, B., Berktaş, A. 2008. Influence of High Organic Loading Rates on COD Removal and Sludge Production in Moving Bed Biofilm Reactor. *Environmental Engineering Science*, 25(9), 1311–1316.
- Aziz, H. A., Adlan, M. N., Mohamed Zahari, M. S., Alias, S. 2004. Removal of ammoniacal nitrogen (N-NH₃) from municipal solid waste leachate by using activated carbon and limestone (Vol. 22).
- Barrera-Díaz, C. E., Balderas-Hernández, P., Bilyeu, B. 2018. Chapter 3 - Electrocoagulation: Fundamentals and Perspectives. In C. A. Martínez-Huitle, M. A. Rodrigo, & O.

- Scialdone (Eds.), *Electrochemical Water and Wastewater Treatment* (pp. 61–76).
- Bilgili, M. S., Demir, A., Akkaya, E., Ozkaya, B. 2008. COD fractions of leachate from aerobik and anaerobik pilot scale landfill reactors. *Journal of Hazardous Materials*, 158(1), 157–163.
- Cabeza, A., Urriaga, A. M., Ortiz, I. 2007. Electrochemical treatment of landfill leachates using a Boron-Doped Diamond Anoda. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(5), 1439–1446.
- Chen, G. 2004. Electrochemical technologies in water treatment. *Separation Purification Technology*. 38. 11-41
- Chen, S., Sun, D., Chung, J.-S. 2008. Simultaneous Removal of COD and Ammonium from Landfill Leachate Using an Anaerobik–Aerobik Moving-Bed Biofilm Reactor System. *Waste Management*, 28(2), 339–346.
- Deng, Y., Englehardt, J. D. 2007. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment. *Waste Management*, 27(3), 380–388.
- Emamjomeh, M. M., Sivakumar, M. 2009. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation / flotation processes. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1663–1679.
- Fernandes, A., Spranger, P., Fonseca, A. D., Pacheco, M. J., Ciríaco, L., Lopes, A. 2014. Effect of electrochemical treatments on the biodegradability of sanitary landfill leachates. *Applied Catalysis B: Environmental*, 144(Supplement C), 514–520.
- Hajipour, A., Moghadam, N., Nosrati, M., Shojasadati, S. 2011. Aerobik Thermophilic Treatment of Landfill Leachate in a Moving-Bed Biofilm Bioreactor. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 8(1), 3–14.
- Huda, R. 2017. Pengolahan Lindi dengan Proses Aerobik-Anoksik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor untuk Menurunkan Konsentrasi Organik dan Nitrogen. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS*.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2016. Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Sampah.

- 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.
- Kulikowska, D. 2012. Nitrogen Removal from Landfill Leachate via the Nitrite Route. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(2), 211–219.
- Kurniawan, T. A., Lo, W., Chan, G. Y. 2006. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1), 80–100.
- Li, H., Zhou, S., Sun, Y., Lv, J. 2010. Nitrogen and carbon removal from Fenton-treated leachate by denitrification and biofiltration. *Bioresource Technology*, 101(20), 7736–7743.
- Metcalf, Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4th ed.). New York: Mc Graw Hill.
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., Sillanpää, M. 2010. Natural organik matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 189–197.
- Metcalf, Eddy. 2014. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed., Vol. 1). McGrawHill.
- Najafpour, G. D., Zinatizadeh, A. A. L., Lee, L. K. 2006. Performance of a Three-Stage Aerobik RBC Reactor in Food Canning Wastewater Treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 30(3), 297–302.
- Ni'am, A. C. 2013. Effectivity of *Eichhornia crassipes* and *Typha angustifolia* in Leachate Effluen Treatment from TPA Ngipik, Gresik. *Tesis Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS*.
- Qaderi, F., Ayati, B., Ganjidoust, H. (Eds.). 2011. Role of Moving Bed Biofilm Reactor and Sequencing Batch Reactor in Biological Degradation of Formaldehyde Wastewater. *Journal of Environment, Health, Sciences dan Engineering*, 8(4), 295-306
- Rustiawan, E., Wesen, P. 1993. Pemanfaatan Lindi Sampah Sebagai Pupuk Cair. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol 4 No 1.

- Said, N.I. and Hartaja, D. R. K. 2015. Leachate treatment using anaerobik-aerobik biofilter and denitrification process. *Journal of water treatment and process*. 8. 1-20
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F. 2003. Chemistry for Environmental Engineering and Science (5th ed.). New York: McGrawHill.
- Sillanpää, M., Shestakova, M. 2017. Equipment for Electrochemical Water Treatment. In *Electrochemical Water Treatment Methods* (pp. 227–263). Elsevier. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128114629000049>
- Tatsi, A. A., Zouboulis, A. I., Matis, K. A., Samaras, P. 2003. Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, 53(7), 737–744.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management*. New York: McGraw-Hill.
- Wang, R.-C., Wen, X.-H., Qian, Y. 2005. Influence of Carrier Concentration on the Performance and Microbial Characteristic of a Suspended Carrier Biofilm Reactor. *Process Biochemistry*, 40(2005), 2992-3001.
- Yadu, A., Sahariah, B.P., Anandkumar, J. 2018. Influence of COD/Amonia ratio on Simultaneous removal of NH₄+N and COD in Surface water using Moving Bed Batch Reactor. *Journal of Water Process Engineering*. 22.66-72
- Youcai, Z. 2018. Physical and Chemical Treatment Processes for Leachate. In *Pollution Control Technology for Leachate from Municipal Solid Waste* (pp. 31–183).
- Yusmartini, E. S., Setiabudidaya, D. 2013. Characteristics of Leachate at Sukawinatan Landfill, Palembang, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 423, 012048.
- Zhao, G., Pang, Y., Liu, L., Gao, J., Lv, B. 2010. Highly efficient and energy-saving sectional treatment of landfill leachate with a synergistic system of biochemical treatment and electrochemical oxidation on a boron-doped diamond electrode (Vol. 179).
- Zhong, H., Tian, Y., Yang, Q., Brusseau, M. L., Yang, L., Zeng, G. 2017. Degradation of Landfill Leachate Compounds by Persulfate for Groundwater Remediation. *Chemical Engineering Journal*, 307, 399–407.

LAMPIRAN

Prosedur Analisa Parameter

A. Analisis Chemical Oxygen Demand (COD)

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 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 $AgSO_4$ ke dalam 1 L H_2SO_4 hingga larut sempurna.

d. Larutkan 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 ($K_2Cr_2O_7$) ditambah sebanyak 1,5 mL.
- Alat pemanas dinyalakan dan diletakan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam
- Setelah 2 jam, alatt pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin. Ditambahkan indicator ferroin sebanyak 1 tetes.
- Sampel di dalam tabung COD dipindahkan kedalam 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 :

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

Dimana:

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

B. Analisis Biochemical Oxygen Demand (BOD)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan Buffer Fospat

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

b. Larutan $MgSO_4$

Larutkan 0,225 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

c. Larutan CaCl_2

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

d. Larutan FeCl_3

Larutkan 0,025 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kedalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

Untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan buffer Fospat, Larutan MgSO_4 , larutan CaCl_2 , larutan FeCl_3 dan larutan benih 1 mL (sampel).

e. Larutan MnCl_2 20%

Larutkan 20 gram MnCl_2 kedalam 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 dididihkan di dalam labu pengencer 100 mL dan ditambahkan sedikit Hgl_2 sebagai pengawet.

h. Larutan Thiosulfat 0,01 N

Larutkan 24,82 gram $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ke dalam 1 L aquades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1 L. kemudian ditambah 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 $KMNO_4$:
- Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitunggan pengenceran, ditambah air pengencer hingga batas labu.
- Siapkan 2 botol winkler 300 mL dan 2 buah winkler 150 mL.
- Tuangkan air dalam labu pengencer tadi kedalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastik wrap agar kedap udara, kemudian masukan kedua botol tersebut kedalam incubator 0 selama 5 hari.
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut.
 - Tambahkan 1 mL larutan $MnCl_2$
 - Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen

C. Analisis Nitrit (metode spektrofotometri)

1. Pembuatan Reagen :

a. Sulfanic Acid

1 gram sulfanic acid ditambah 5 mL HCL pekat kemudian dilarutkan dalam aquades sampai 100 mL.

b. NED dihydrochloride

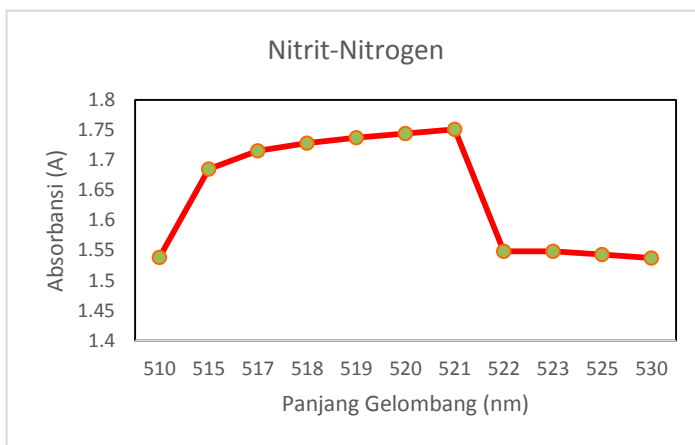
100 NED dihydrochloride kemudian larutkan dalam aquades sampai 100 mL.

2. Kalibrasi :

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

a. Penentuan Panjang Gelombang

| Panjang Gelombang | Konsentrasi | Absorbansi |
|-------------------|-------------|------------|
| 510 | 1.5 | 1.538 |
| 515 | 1.5 | 1.685 |
| 517 | 1.5 | 1.715 |
| 518 | 1.5 | 1.728 |
| 519 | 1.5 | 1.737 |
| 520 | 1.5 | 1.744 |
| 521 | 1.5 | 1.751 |
| 522 | 1.5 | 1.548 |
| 523 | 1.5 | 1.548 |
| 525 | 1.5 | 1.543 |
| 530 | 1.5 | 1.537 |

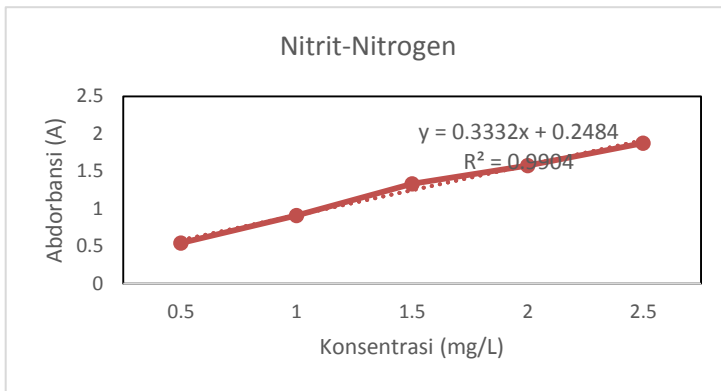


b. Kurva Kalibrasi

Digunakan panjang gelombang 521 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang

gelombang optimum kemudian diperoleh kurva kalibrasi sebagai berikut:

| Konsentrasi (mg/L) | Absorbansi (A) |
|--------------------|----------------|
| 0.5 | 0.5412 |
| 1 | 0.9124 |
| 1.5 | 1.335 |
| 2 | 1.5747 |
| 2.5 | 1.8758 |



3. Prosedur kerja analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar nitritnya diambil sampel 50 mL
- Sampel diencerkan sampai 100 mL dengan aquades menggunakan labu pengencer 100 mL.
- Diambil 25 mL larutan dengan gelas ukur dan dimasukkan ke Erlenmeyer 350 mL.
- Ditambahkan 0,5 mL surfanic acid, kocok, lalu diamkan selama 2 menit
- Tambahkan 0,5 mL larutan NED, diamkan selama 10 menit

- Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang sesuai dengan hasil kalibrasi yaitu 521 nm
- Blanko yang digunakan adalah aquades dengan menambahkan reagen seperti pada sampel.
- Hasil absorbansi spektrofotometer diplotkan pada persamaan hasil kalibrasi.

D. Analisis Nitrat-Nitrogen (Metode Spektrofotometri)

1. Pembuatan reagen :

- Brucin Asetat 0,5%
Larutkan 0,5 gram serbuk brucin dengan 100 mL acetic acid glacial (CH_3COOH) di dalam labu pengencer 100 mL, Kocok hingga larut sempurna.
- H_2SO_4 pekat
- Larutan standar Nitrat (1100 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.

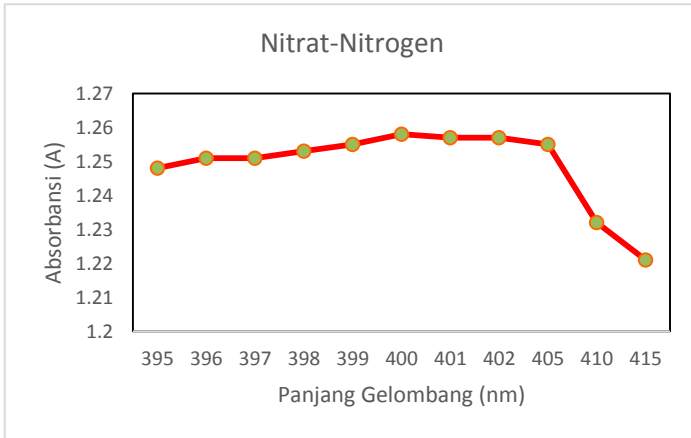
2. Kalibrasi :

Sebelum melakukan kalibrasi makka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitra-nitrogen.

a. Penentuan Panjang Gelombang

| Panjang Gelombang (nm) | Konsentrasi (mg/L) | Absorbansi (A) |
|------------------------|--------------------|----------------|
| 395 | 4 | 1.248 |
| 396 | 4 | 1.251 |
| 397 | 4 | 1.251 |
| 398 | 4 | 1.253 |
| 399 | 4 | 1.255 |
| 400 | 4 | 1.258 |
| 401 | 4 | 1.257 |
| 402 | 4 | 1.257 |

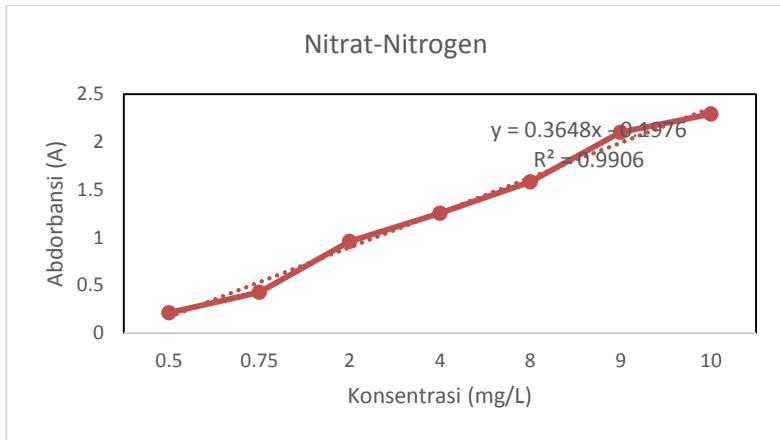
| Panjang Gelombang (nm) | Konsentrasi (mg/L) | Absorbansi (A) |
|------------------------|--------------------|----------------|
| 405 | 4 | 1.255 |
| 410 | 4 | 1.232 |
| 415 | 4 | 1.221 |



b. Kurva Kalibrasi

Digunakan panjang gelombang 400 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum kemudian diperoleh kurva kalibrasi sebagai berikut:

| Konsentrasi (mg/L) | Absorbansi (A) |
|--------------------|----------------|
| 0.5 | 0.211 |
| 0.75 | 0.428 |
| 2 | 0.96 |
| 4 | 1.256 |
| 8 | 1.582 |
| 9 | 2.103 |
| 10 | 2.292 |



3. Prosedur analisis :

- Disiapkan sampel yang dianalisis kadar nitratnya
- Diambil 2 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat) dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 100 mL.
- Ditambah 2 mL larutan Brucin Asetat
- Ditambah 4 mL larutan H₂SO₄ pekat
- Diaduk dan didiamkan selama +- 10 menit.
- Dibaca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang sesuai dengan hasil kalibrasi panjang gelombang yaitu 400 nm
- Blanko yang digunakan adalah larutan sampel (tanpa reagen)
- Hitung nilai nitrat dengan rumus dari kurva kalibrasi

E. Analisis Amonium-Nitrogen

1. Pembuatan reagen

a. Nessier

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 sepernatannya.

b. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na. Ttrat kedalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 ml larutan nessier sebagai pengawet.

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

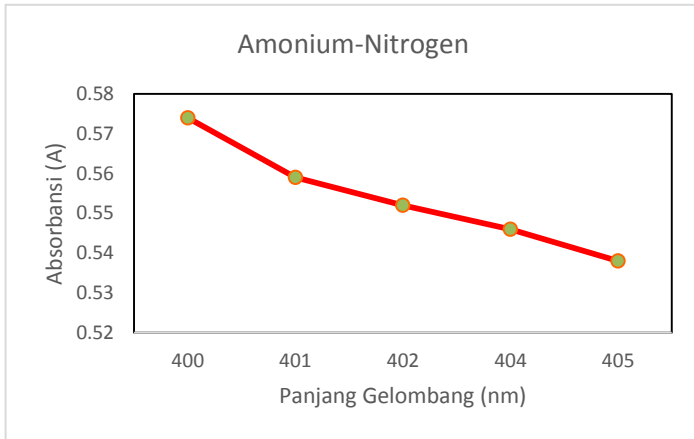
Timbang dengan teliti 382,14 mg NH_4Cl kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. ditambahkan 3 tetes toluene sebagai pengawet

2. Kalibrasi :

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

a. Penentuan Panjang Gelombang

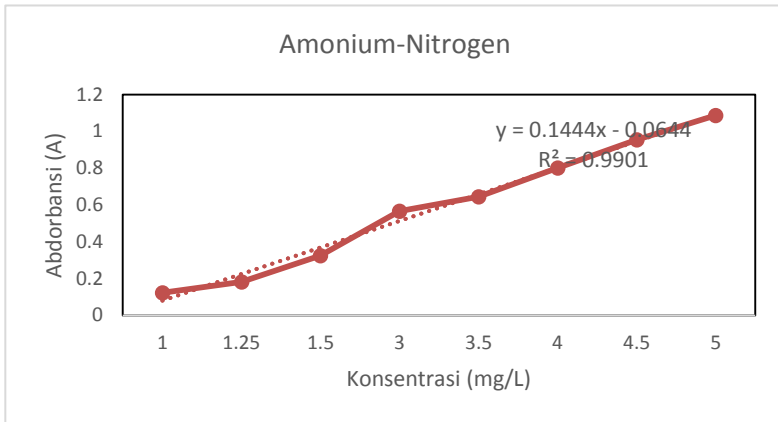
| Panjang Gelombang (nm) | Konsentrasi (mg/L) | Absorbansi (A) |
|------------------------|--------------------|----------------|
| 400 | 3 | 0.574 |
| 401 | 3 | 0.559 |
| 402 | 3 | 0.552 |
| 404 | 3 | 0.546 |
| 405 | 3 | 0.538 |



b. Kurva Kalibrasi

Digunakan panjang gelombang 400 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum kemudian diperoleh kurva kalibrasi sebagai berikut:

| Konsentrasi (mg/L) | Absorbansi (A) |
|--------------------|----------------|
| 1 | 0.122 |
| 1.25 | 0.182 |
| 1.5 | 0.324 |
| 3 | 0.567 |
| 3.5 | 0.645 |
| 4 | 0.801 |
| 4.5 | 0.955 |
| 5 | 1.087 |



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.

F. Prosedur analisis total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

1. Pembuatan reagen

a. H₂SO₄ pekat

Digunakan langsung dari botolna tanpa dituang ke beaker glass.

b. 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 supernatannya

c. Garam signet

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

2. Prosedur kerja analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis
- Masukkan kedalam labu Kjedahi
- Tambahkan 10 mL. reagen H_2SO_4 pekat
- Panaskan dengan alat kjedahi selama 4 jam hingga warna berubah hijau
- Dinginkan hasil destilasi. Kemudian encerkan menjadi 100 mL, setelah itu ambil 1 mL dan masukan kedalam labu Erlenmeyer 100 mL
- Encerkan larutan menjadi 25 mL dengan menggunakan aquades
- Tambahkan 0,6 mL garam signet dan 0,5 mL nessler
- Diamkan selama 10 menit
- Lakukan tahap sebelumnya pada aquades dan blanko
- Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang sesuai dengan hasil kalibrasi yaitu 395 nm
- Hitung total kjedahi nitrogen dengan rumus dari kurva kalibrasi

G. Prosedur analisis derajat keasaman (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 buffet 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 diletakan ke dalam beaker glass
- Dicelupkan probe pH meter ke dalam sampel yang diukur nilai pH nya.
- Dibaca nilai pH sampel pada monitor pembaca.

H. Analisis Dissolved Oxygen (DO)

Analisis DO menggunakan DO meter dengan bacaan digital. Prosedur analisis sebagai berikut:

- Diambil sejumlah sampel da diletakan ke dalam beaker glass
- Dicelupkan probe DO meter kedalam sampel yang diukur nilai DOnya
- Dibaca nilai DO sampel pada monitor pembaca

I. Analisis Salinitas

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

- pH on lab disetting untuk mengukur salinitas dengan menekan enter/mode hingga pada layer 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 diletakan ke dalam beaker glass.
- Dicelupkan probe pH onlab ke dalam sampel pada monitor pembaca.

J. Analisis MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)

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

1. Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550° C selama 1 jam, kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu 150 C selama 5 menit.
2. Disiapkan kertas saring dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105 C selama 1 jam
3. Kertas saring dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit
4. 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).
5. Kertas saring yang telah ditimbang, diletakkan pada vacuum filter.
6. Sampel disaring dengan menggunakan vacuum filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang. Sampel disaring hingga kering. Dicatat volume sampel yang disaring sebagai c (mL)
7. Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 6 kemudian diletakkan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 4
8. Cawan yang berisis kertas saring dimasukkan kedalam oven dengan suhu 105 C selama 1 jam
9. Cawan yang berisis kertas saring dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit

10. Cawan yang berisis kertas saring saling ditimbang menggunakan neraca analitik hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg)
11. Dilakukan perhitungan jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus

K. Analisis MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)

Teknik analisis MLVSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetric 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 kedalam furnace dengan suhu 550 C selama jam
- Setelah di furnace, cawan dan kertas saring dipindahkan ke dalam oven dengan suhu 105 C selama 5 menit
- Cawan yang berisi kertas saring kemudian dimasukkan kedalam 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 :
- Botol ditutup dengan hati –hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali
- Biarkan gumpalan mengendap selama \pm 10 menit
- Tambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat tutup dan kocok kembali

- Tuangkan 100 mL larutan kedalam Erlenmeyer 250 mL
- Tambahkan 3 tetes indicator 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

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

$$\text{BOD}_{5^{20}} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - x_5) - (B_0 - B_5)]}{P}$$

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

Dimana:

X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t = 0$

X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t = 5$

B_0 = oksigen terlarut blanko pada $t = 0$

B_5 = oksigen terlarut blanko pada $t = 5$

P = derajat pengenceran

a = volume titran (mL)

N = Normalitas Natrium Thiosulfat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN DATA HASIL ANALISIS LABORATORIUM

A. Konsentrasi COD

| REAKTOR | Konsentrasi COD (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | 1IN | 1AER | 1AN | 2IN | 2AER | 2AN | 3IN | 3AER | 3AN | 4IN | 4AER | 4AN | 5IN | 5AER | 5AN |
| NON 55 | 12000 | 13000 | 13000 | 13000 | 13000 | 13000 | 12428 | 11472 | 10516 | 11472 | 10516 | 9560 | 10998 | 10062 | 9126 |
| EO 55 | 8776.8 | 9264.4 | 9264.4 | 8776.8 | 9752 | 9752 | 9264.4 | 8776.8 | 8289.2 | 8776.8 | 7801.6 | 7314 | 7897.6 | 6416.8 | 5923.2 |
| EK 55 | 7769.6 | 8255.2 | 8255.2 | 7712 | 7712 | 7712 | 8194 | 7712 | 7230 | 7712 | 6266 | 5784 | 6266 | 4338 | 3856 |
| NON 73 | 11637.6 | 12532.8 | 12532.8 | 12085.2 | 11637.6 | 11637.6 | 12870 | 10998 | 10530 | 10998 | 9126 | 8658 | 9828 | 8424 | 7956 |
| EO 73 | 8884.8 | 9378.4 | 9378.4 | 8884.8 | 7897.6 | 7404 | 8884.8 | 7897.6 | 7404 | 7897.6 | 6910.4 | 6416.8 | 6416.8 | 4856 | 4370.4 |
| EK 73 | 7712 | 8194 | 7712 | 8194 | 7712 | 7712 | 7230 | 6266 | 5784 | 6266 | 5302 | 4820 | 5280 | 3840 | 3360 |
| NON 82 | 11637.6 | 10742.4 | 10742.4 | 11190 | 10296 | 9828 | 10296 | 8424 | 7956 | 8424 | 6552 | 6084 | 7488 | 6084 | 5616 |
| EO 82 | 8255.2 | 8255.2 | 8255.2 | 8255.2 | 7769.6 | 7284 | 7769.6 | 6798.4 | 6312.8 | 6798.4 | 5341.6 | 4856 | 5827.2 | 3884.8 | 3399.2 |
| EK 82 | 7200 | 7680 | 7680 | 7680 | 7200 | 7200 | 7680 | 6720 | 6240 | 6714.4 | 4796 | 4316.4 | 5755.2 | 3357.2 | 2877.6 |

B. Konsentrasi BOD₅, Rasio BOD₅/COD, MLSS, MLVSS, dan Rasio F/M

| REAKTOR | TN | | TKN | | N Organik | | COD/TN | | BOD/N Organik | |
|---------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|---------------|------------|
| | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | - | - | - | - |
| | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 |
| NON 55 | 410.4 | 201.6 | 288.4 | 113.0 | 63.9 | 25.1 | 29.2 | 45.3 | 3.8 | 58.3 |
| EO 55 | 358.0 | 170.9 | 256.5 | 93.6 | 56.6 | 20.7 | 24.5 | 34.7 | 4.7 | 40.1 |
| EK 55 | 311.0 | 146.8 | 226.7 | 72.2 | 50.0 | 16.0 | 25.0 | 26.3 | 4.7 | 34.1 |
| NON 73 | 404.2 | 203.9 | 282.1 | 116.1 | 62.7 | 25.9 | 28.8 | 39.0 | 3.7 | 55.2 |
| EO 73 | 359.0 | 173.9 | 256.5 | 97.4 | 56.6 | 21.5 | 24.8 | 25.1 | 6.3 | 30.5 |
| EK 73 | 315.4 | 143.4 | 233.0 | 70.4 | 51.8 | 15.5 | 24.5 | 23.4 | 4.5 | 42.4 |
| NON 82 | 404.2 | 195.8 | 282.1 | 109.2 | 62.7 | 24.5 | 28.8 | 28.7 | 3.7 | 50.4 |
| EO 82 | 354.3 | 158.9 | 255.1 | 85.0 | 56.2 | 19.0 | 23.3 | 21.4 | 4.4 | 28.6 |
| EK 82 | 315.2 | 154.0 | 233.0 | 82.5 | 51.3 | 18.1 | 22.8 | 18.7 | 8.4 | 36.6 |

C. Konsentrasi Total Nitrogen, TKN, N-Organik, Rasio COD/TN, dan Rasio BOD₅/N-Organik

| REAKTOR | BOD ₅ | | BOD ₅ /COD | | MLSS | | MLVSS | | F/M | |
|---------|------------------|------------|-----------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | mg/L | mg/L | - | - | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | - | - |
| | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 | Hari ke 0 | Hari ke 10 |
| NON 55 | 240 | 1460 | 0.02 | 0.16 | 27073 | 3873 | 19500 | 2833 | 0.01 | 0.52 |
| EO 55 | 263 | 829 | 0.03 | 0.14 | 28260 | 2747 | 20920 | 2067 | 0.01 | 0.40 |
| EK 55 | 233 | 544 | 0.03 | 0.16 | 28347 | 2647 | 20413 | 2020 | 0.01 | 0.27 |
| NON 73 | 233 | 1432 | 0.02 | 0.18 | 27433 | 5120 | 19207 | 3900 | 0.01 | 0.37 |
| EO 73 | 355 | 656 | 0.04 | 0.15 | 25387 | 4873 | 19047 | 3760 | 0.02 | 0.17 |
| EK 73 | 231 | 656 | 0.03 | 0.17 | 24447 | 3500 | 18340 | 2700 | 0.01 | 0.24 |
| NON 82 | 233 | 1236 | 0.02 | 0.22 | 27060 | 6220 | 19220 | 4980 | 0.01 | 0.25 |
| EO 82 | 248 | 544 | 0.03 | 0.16 | 29100 | 4747 | 20953 | 3520 | 0.01 | 0.15 |
| EK 82 | 432 | 662 | 0.06 | 0.23 | 29020 | 3787 | 20900 | 2953 | 0.02 | 0.22 |

D. Konsentrasi Amonium-Nitrogen

| REAKTOR | Amonium-Nitrogen (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | 1IN | 1AER | 1AN | 2IN | 2AER | 2AN | 3IN | 3AER | 3AN | 4IN | 4AER | 4AN | 5IN | 5AER | 5AN |
| NON 55 | 224.45 | 98.20 | 92.20 | 98.95 | 93.45 | 92.20 | 96.45 | 94.20 | 83.95 | 93.45 | 87.70 | 88.70 | 94.20 | 93.45 | 87.95 |
| EO 55 | 199.95 | 78.70 | 72.45 | 76.70 | 79.95 | 72.45 | 74.45 | 71.70 | 68.20 | 74.20 | 68.20 | 71.70 | 70.95 | 73.95 | 72.95 |
| EK 55 | 176.70 | 62.70 | 55.20 | 15.45 | 57.95 | 55.20 | 58.20 | 55.70 | 51.20 | 55.20 | 51.45 | 72.20 | 80.70 | 56.70 | 56.20 |
| NON 73 | 219.45 | 93.70 | 91.20 | 95.95 | 91.70 | 91.20 | 95.70 | 93.45 | 85.95 | 93.45 | 87.70 | 91.70 | 91.20 | 93.95 | 90.20 |
| EO 73 | 199.95 | 82.45 | 76.70 | 79.45 | 77.95 | 76.70 | 80.95 | 74.45 | 69.70 | 74.95 | 54.45 | 73.95 | 72.70 | 77.70 | 75.95 |
| EK 73 | 181.20 | 59.45 | 52.70 | 58.45 | 57.70 | 52.70 | 57.95 | 58.70 | 53.45 | 58.45 | 70.45 | 60.45 | 57.20 | 57.95 | 54.95 |
| NON 82 | 219.45 | 96.20 | 89.45 | 96.20 | 95.95 | 89.45 | 96.45 | 96.45 | 87.70 | 118.20 | 92.20 | 93.20 | 95.70 | 94.20 | 84.70 |
| EO 82 | 198.95 | 77.20 | 71.45 | 74.45 | 73.95 | 71.45 | 77.45 | 76.95 | 68.70 | 77.45 | 72.95 | 74.95 | 74.45 | 75.70 | 65.95 |
| EK 82 | 181.70 | 211.70 | 219.20 | 209.45 | 161.95 | 219.20 | 58.70 | 54.45 | 56.45 | 59.70 | 47.95 | 63.70 | 59.20 | 60.70 | 64.45 |

E. Konsentrasi Nitrat-Nitrogen

| REAKTOR | Nitrat-Nitrogen (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | 1IN | 1AER | 1AN | 2IN | 2AER | 2AN | 3IN | 3AER | 3AN | 4IN | 4AER | 4AN | 5IN | 5AER | 5AN |
| NON 55 | 57.34 | 65.19 | 12.99 | 59.79 | 64.19 | 11.99 | 62.59 | 68.39 | 32.59 | 71.19 | 76.39 | 22.39 | 64.59 | 69.59 | 32.59 |
| EO 55 | 48.08 | 52.48 | 13.79 | 47.83 | 51.35 | 12.79 | 49.91 | 54.55 | 13.27 | 56.95 | 61.11 | 17.91 | 51.51 | 55.67 | 15.67 |
| EK 55 | 33.58 | 36.41 | 15.39 | 35.75 | 38.51 | 14.39 | 37.43 | 40.79 | 14.75 | 42.71 | 45.83 | 19.55 | 38.63 | 41.75 | 15.47 |
| NON 73 | 57.34 | 65.15 | 10.99 | 59.39 | 64.19 | 11.99 | 62.39 | 68.19 | 12.59 | 71.19 | 76.39 | 22.59 | 64.39 | 69.59 | 22.39 |
| EO 73 | 49.08 | 50.81 | 13.79 | 47.67 | 51.51 | 12.79 | 50.07 | 54.39 | 13.27 | 57.11 | 61.27 | 19.67 | 51.67 | 55.67 | 15.83 |
| EK 73 | 32.58 | 36.75 | 17.45 | 35.87 | 38.63 | 16.79 | 37.43 | 40.79 | 17.15 | 42.71 | 45.83 | 19.55 | 38.75 | 41.75 | 14.15 |
| NON 82 | 57.34 | 62.95 | 13.18 | 58.99 | 63.79 | 11.79 | 61.79 | 67.39 | 12.39 | 70.99 | 76.19 | 22.59 | 63.99 | 69.19 | 17.91 |
| EO 82 | 47.08 | 50.97 | 13.45 | 47.67 | 51.67 | 12.79 | 50.07 | 54.39 | 13.27 | 57.27 | 61.43 | 19.83 | 51.67 | 55.35 | 15.67 |
| EK 82 | 32.58 | 34.63 | 18.96 | 23.03 | 29.63 | 17.39 | 27.23 | 30.71 | 17.99 | 35.15 | 40.19 | 20.51 | 28.43 | 33.59 | 16.07 |

F. Konsentrasi Nitrit-Nitrogen

| REAKTOR | Nitrit-Nitrogen (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | 1IN | 1AER | 1AN | 2IN | 2AER | 2AN | 3IN | 3AER | 3AN | 4IN | 4AER | 4AN | 5IN | 5AER | 5AN |
| NON 55 | 64.73 | 62.72 | 63.22 | 63.52 | 61.22 | 61.56 | 61.95 | 59.62 | 59.99 | 60.25 | 57.70 | 57.91 | 58.34 | 55.75 | 55.97 |
| EO 55 | 53.36 | 51.35 | 51.85 | 52.15 | 49.94 | 50.28 | 50.67 | 48.34 | 48.71 | 48.98 | 46.42 | 46.63 | 47.06 | 44.47 | 44.69 |
| EK 55 | 50.73 | 48.72 | 49.23 | 49.53 | 47.32 | 47.65 | 48.05 | 45.72 | 46.09 | 46.35 | 43.80 | 44.01 | 44.43 | 41.85 | 42.07 |
| NON 73 | 64.73 | 62.53 | 62.94 | 63.24 | 60.53 | 60.87 | 61.26 | 58.88 | 59.23 | 59.49 | 56.94 | 57.15 | 57.58 | 54.97 | 55.17 |
| EO 73 | 53.36 | 51.16 | 51.66 | 51.96 | 49.26 | 49.59 | 49.98 | 47.60 | 47.95 | 48.21 | 45.66 | 45.87 | 46.30 | 43.69 | 43.90 |
| EK 73 | 49.81 | 47.61 | 48.12 | 48.42 | 45.71 | 46.05 | 46.44 | 44.05 | 44.41 | 44.67 | 42.12 | 42.32 | 42.75 | 40.15 | 40.35 |
| NON 82 | 64.73 | 62.10 | 62.42 | 62.72 | 59.72 | 59.97 | 60.36 | 57.94 | 58.22 | 58.48 | 55.87 | 56.07 | 56.50 | 53.88 | 54.01 |
| EO 82 | 52.08 | 49.45 | 49.77 | 50.06 | 47.07 | 47.31 | 47.70 | 45.28 | 45.56 | 45.82 | 43.22 | 43.42 | 43.85 | 41.22 | 41.36 |
| EK 82 | 49.63 | 47.00 | 47.32 | 47.61 | 44.62 | 44.86 | 45.25 | 42.83 | 43.11 | 43.37 | 40.77 | 40.97 | 41.40 | 38.78 | 38.91 |

G. Konsentrasi DO

| REAKTOR | DO (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|------|-----|----------|------|-----|----------|------|-----|----------|------|-----|----------|------|-----|
| | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | 1IN | 1AER | 1AN | 2IN | 2AER | 2AN | 3IN | 3AER | 3AN | 4IN | 4AER | 4AN | 5IN | 5AER | 5AN |
| NON 55 | 2.3 | 6.3 | 1.8 | 2.3 | 6.8 | 1.3 | 2.2 | 6.7 | 1.8 | 2.6 | 7.1 | 1.7 | 2.7 | 6.8 | 1.3 |
| EO 55 | 2.3 | 6.3 | 1.8 | 2.3 | 6.8 | 1.3 | 2.2 | 6.7 | 1.8 | 2.6 | 7.1 | 1.7 | 2.7 | 6.8 | 1.3 |
| EK 55 | 2.2 | 6.3 | 1.8 | 2.3 | 6.9 | 1.3 | 2.2 | 6.7 | 1.8 | 2.6 | 6.9 | 1.7 | 2.7 | 6.8 | 1.4 |
| NON 73 | 2.7 | 5.8 | 1.3 | 2.6 | 7.1 | 1.7 | 2.3 | 6.3 | 1.8 | 2.4 | 6.8 | 2 | 2.2 | 6.7 | 1.8 |
| EO 73 | 3.1 | 6.8 | 1.3 | 2.6 | 7 | 1.7 | 2.2 | 6.7 | 1.8 | 2.2 | 6.8 | 2 | 2.2 | 6.7 | 1.8 |
| EK 73 | 2.7 | 6.8 | 1.3 | 2.4 | 7.1 | 1.5 | 2.3 | 6.7 | 1.8 | 2.4 | 6.8 | 1.8 | 2.2 | 6.7 | 1.8 |
| NON 82 | 2.5 | 6.9 | 1.9 | 2.2 | 7.2 | 1.8 | 2.7 | 6.9 | 1.3 | 2.3 | 6.8 | 1.7 | 2.8 | 7.1 | 1.8 |
| EO 82 | 2.5 | 6.9 | 1.7 | 2.8 | 7.1 | 1.8 | 2.2 | 6.8 | 2 | 2.3 | 6.8 | 1.7 | 2.8 | 7.1 | 1.8 |
| EK 82 | 2.5 | 6.9 | 1.9 | 2.2 | 7.2 | 1.8 | 2.7 | 6.9 | 1.3 | 2.3 | 6.8 | 1.7 | 2.8 | 7.1 | 1.8 |

H. Hasil Analisis pH

| REAKTOR | pH | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|
| | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | 1IN | 1AER | 1AN | 2IN | 2AER | 2AN | 3IN | 3AER | 3AN | 4IN | 4AER | 4AN | 5IN | 5AER | 5AN |
| NON 55 | 8.16 | 8.78 | 8.89 | 9.11 | 9.09 | 8.98 | 9.26 | 9.29 | 9.27 | 8.91 | 9.48 | 9.05 | 8.98 | 9.56 | 8.99 |
| EO 55 | 7.73 | 8.20 | 8.34 | 8.42 | 8.65 | 8.50 | 8.73 | 8.85 | 8.72 | 8.41 | 8.83 | 8.52 | 8.42 | 8.91 | 8.45 |
| EK 55 | 7.91 | 8.27 | 8.45 | 8.53 | 8.71 | 8.50 | 8.72 | 8.80 | 8.73 | 8.30 | 8.71 | 8.60 | 8.47 | 8.92 | 8.73 |
| NON 73 | 8.44 | 8.99 | 8.87 | 9.04 | 9.19 | 9.19 | 9.38 | 9.49 | 9.25 | 9.03 | 9.37 | 9.14 | 9.16 | 9.53 | 9.16 |
| EO 73 | 8.12 | 8.14 | 8.44 | 8.56 | 8.63 | 8.50 | 8.72 | 8.80 | 8.73 | 8.40 | 8.73 | 8.62 | 8.51 | 8.81 | 8.60 |
| EK 73 | 8.52 | 8.24 | 8.46 | 8.50 | 8.71 | 8.72 | 8.82 | 8.92 | 8.78 | 8.56 | 8.71 | 8.75 | 8.40 | 8.80 | 8.73 |
| NON 82 | 8.56 | 8.89 | 9.06 | 9.16 | 9.27 | 9.18 | 9.35 | 9.43 | 9.27 | 9.1 | 9.55 | 9.18 | 8.97 | 9.36 | 9.19 |
| EO 82 | 8.42 | 8.32 | 8.56 | 8.53 | 8.61 | 8.60 | 8.73 | 8.91 | 8.70 | 8.42 | 8.89 | 8.61 | 8.46 | 8.72 | 8.60 |
| EK 82 | 8.11 | 8.46 | 8.55 | 8.57 | 8.76 | 8.64 | 8.82 | 8.91 | 8.82 | 8.63 | 8.81 | 8.76 | 8.48 | 8.82 | 8.73 |

I. Hasil Analisis Salinitas

| REAKTOR | Salinitas (ppt) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|
| | Siklus 1 | | | Siklus 2 | | | Siklus 3 | | | Siklus 4 | | | Siklus 5 | | |
| | 1IN | 1AER | 1AN | 2IN | 2AER | 2AN | 3IN | 3AER | 3AN | 4IN | 4AER | 4AN | 5IN | 5AER | 5AN |
| NON 55 | 6.06 | 6 | 6.06 | 6.05 | 5.92 | 6.06 | 6.01 | 5.95 | 5.86 | 5.98 | 6.02 | 6.01 | 6.05 | 6.04 | 6.06 |
| EO 55 | 5.28 | 5.38 | 5.35 | 5.32 | 5.37 | 5.3 | 5.58 | 5.32 | 5.35 | 5.3 | 5.41 | 5.4 | 5.44 | 5.27 | 5.31 |
| EK 55 | 4.87 | 4.6 | 4.6 | 4.56 | 4.69 | 4.62 | 4.65 | 4.57 | 4.56 | 4.57 | 4.64 | 4.97 | 4.69 | 4.55 | 4.55 |
| NON 73 | 5.91 | 6.02 | 5.98 | 6 | 5.95 | 6.07 | 6.12 | 5.99 | 5.93 | 5.99 | 6.05 | 6.06 | 6.17 | 6.11 | 5.99 |
| EO 73 | 5.21 | 5.41 | 5.27 | 5.35 | 5.42 | 5.43 | 5.62 | 5.39 | 5.36 | 5.44 | 5.67 | 5.54 | 5.55 | 5.47 | 5.65 |
| EK 73 | 4.59 | 4.66 | 4.65 | 4.59 | 4.59 | 4.71 | 4.84 | 4.68 | 4.66 | 4.63 | 4.84 | 4.69 | 4.68 | 4.65 | 4.6 |
| NON 82 | 6.01 | 5.98 | 5.91 | 5.95 | 5.85 | 5.81 | 5.91 | 5.91 | 5.81 | 5.92 | 5.98 | 5.94 | 5.99 | 6.01 | 6.02 |
| EO 82 | 5.32 | 5.31 | 5.25 | 5.27 | 5.34 | 5.34 | 5.54 | 5.32 | 5.22 | 5.27 | 5.34 | 5.38 | 5.3 | 5.24 | 5.3 |
| EK 82 | 4.63 | 4.67 | 4.57 | 4.5 | 4.55 | 4.55 | 4.68 | 4.48 | 4.46 | 4.46 | 4.45 | 4.41 | 4.44 | 4.37 | 4.53 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LAMPIRAN
DOKUMENTASI PENELITIAN**



Pengambilan sampel lindi



Pengambilan sampel lumpur



Reaktor MBBR



Stok lindi



Bak Aklimatisasi Lumpur



Reaktor E. Koagulasi dan E. Oksidasi



Analisis COD



Analisis Nitrat



Analisis Amonium



Analisis Nitrit



Analisis BOD



Analisis pH



Analisis DO



Analisis salinitas

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Sidoarjo pada 12 Desember 1996 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis adalah SDN Sidokumpul Sidoarjo (2003-2009), SMP Negeri 2 Sidoarjo (2009-2012), SMA Negeri 1 Sidoarjo (2012-2015) dan menempuh pendidikan S-1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan (FTSPK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2015-2020). Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan dan organisasi. Penulis pernah mengikuti kegiatan *Global Leadership Camp ITS-Kumamoto University* Jepang dan Perancangan IPAL di *Engineers in Action* ITS-NTUST Taiwan. Penulis juga pernah menjabat sebagai *Creative Team Leader* di *Marine Buddies WWF* Surabaya dan *Vice Chairman* di ITS EXPO 2017 Surabaya.

Penulis memiliki pengalaman profesional sebagai *Freelance Surveyor* di PT. Cilaki Surabaya, *English Tutor* di Sang Juara School Surabaya, *Environmental Chemistry Lab Internship* di PT. YTL Probolinggo tentang sistem manajemen lingkungan *Steam Electricity Power Plant* dan *Student Research Exchange Program (Lab Internship)* dengan topic penelitian “*Study of Selenate Reduction by Immobilization of Pseudomonas Stutzeri NT-I Bacteria in CIGS Cell Industrial Waste Water*” di *Shibaura Institute of Technology*, Tokyo, Jepang. Penulis dapat dihubungi melalui email rashidamisali@gmail.com.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 16 Desember
Pukul : 08.00 - 09.00 WIB
Lokasi : TL 103
Judul : Pengolahan Efluen Proses Fisik-Kimia Lindi Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) Secara Intermiten
Nama : Rashida Misali
NRP. : 0321154000048
Topik : Penelitian

Nilai TOEFL : # 523

Tanda Tangan

| No./Hal. | Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir |
|----------|---|
| 1 | Pengaruh pre-treatment oleh chlorin - ? |
| 2 | Sumber literatur pada tugas akhir pustaka. |
| 3 | Penelitian terdahulu. |
| 4 | Siklus 1 |
| 5 | Tujuan diperbaiki |

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Welly Herumurti, ST., MSc



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rashida Misali
NRP : 0321154000048
Judul : Pengolahan Efluen Proses Fisik-Kimia Lindi menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) secara Intermiten

| No | Tanggal | Keterangan Kegiatan / Pembahasan | Paraf |
|----|------------------|--|-------|
| 1. | 27 Oktober 2019 | Asistensi Aklimatisasi, Proses Elektrokimia | |
| 2. | 24 November 2019 | Asistensi Karakteristik Awal Lindi + Lumpur | |
| 3. | 30 November 2019 | Asistensi Hasil MBBR (COD, Nitrat, Amonium) | |
| 4. | 6 Desember 2019 | Asistensi Hasil MBBR (Nitrit, BOD), pembahasan + perhitungan | |
| 5. | 12 Desember 2019 | Asistensi TKN + Mass Balance COD | |
| 6. | 19 Januari 2020 | Asistensi Mass Balance COD & Nitrogen | |
| 7. | 23 Januari 2020 | Asistensi Laporan | |
| 8. | 27 Januari 2020 | Asistensi Laporan | |

Surabaya,
Dosen Pembimbing

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



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 20 Januari 2020

Nilai TOEFL 523

Pukul : 07.30 - 09.30 WIB

Lokasi : TL-102

Judul : Pengolahan Lindi Efluen Proses Fisik-Kimia Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Secara Intermiten

Nama : Rashida Misali

NRP. : 0321154000048

Topik : Penelitian

Tanda Tangan

| No./Hal. | Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir |
|----------|--|
| 1 | Keseimbangan COD diperbaiki |
| 2 | Keseimbangan nitrogen belum masuk |
| 3 | Pembalutan tirasi terhadap aeranika dan nitrogen |
| 4 | Pembalasan pH dan salinitasi |
| 5 | DO ditambahkan pembalukannya |

Acc 20/1/2020

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistansi kepada Dosen Pembimbing

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Welly Herumurti, S.T., M.Sc

()

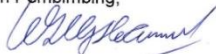


FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

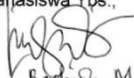
Nama : Rashida Misali
NRP : 0321154000048
Judul Tugas Akhir : Pengolahan Efluen Proses Fisik-Kimia Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Secara Intermiten

| No | Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02) | Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman) |
|----|---|---|
| 1. | Keseimbangan COD diperbaiki | sudah diperbaiki |
| 2. | Keseimbangan Nitrogen belum masuk | dicek kembali |
| 3. | Pembahasan durasi terhadap organik dan nitrogen | sudah diperbaiki |
| 4. | Pembahasan pH dan Salinitas | telah diperbaiki |
| 5. | DO ditambah pembahasannya | telah ditambahkan |

Dosen Pembimbing,


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

Mahasiswa Yps.,


Rashida Misali