



**TESIS- RE 185401**

**KAJIAN EFEKTIFITAS PENGOLAHAN LINDI SECARA ELEKTROKIMIA  
DALAM MENGURAIKAN POLUTAN ORGANIK DAN NITROGEN**

**BADRIYAH ROSYIDAH  
0321 18500 10011**

**DOSEN PEMBIMBING  
Arseto Yekti Bagastyo, S.T, M.T, M.Phil, PhD**

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





**TESIS- RE 185401**

**KAJIAN EFEKTIFITAS PENGOLAHAN LINDI SECARA ELEKTROKIMIA  
DALAM MENGURAIKAN POLUTAN ORGANIK DAN NITROGEN**

**BADRIYAH ROSYIDAH  
0321 18500 10011**

**DOSEN PEMBIMBING  
Arseto Yekti Bagastyo, S.T, M.T, M.Phil, PhD**

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





**THESIS-RE 185401**

**EFFECTIVENESS STUDY OF LEACHATE BY ELECTROCHEMICAL FOR  
DEGRADATION ORGANIC AND NITROGEN POLLUTANS**

**BADRIYAH ROSYIDAH  
0321 18500 10011**

**SUPERVISOR  
Arseto Yekti Bagastyo, S.T, M.T, M.Phil, PhD**

**DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty Of Civil, Planning, and Geo Engineering  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
2020**





LEMBAR PENGESAHAN



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**BADRIYAH ROSYIDAH**

**NRP: 03211850010011**

Tanggal Ujian : 27 Juli 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD.  
NIP: 19820804 200501 1 001



**Penguji:**

1. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.  
NIP: 19530706 198403 2 004
2. Dr. Ali Masduqi, ST., MT.  
NIP: 19680128 199403 1 003
3. Dr. Abdu F. Assomadi, Ssi., MT.  
NIP: 19751018 200501 1 003

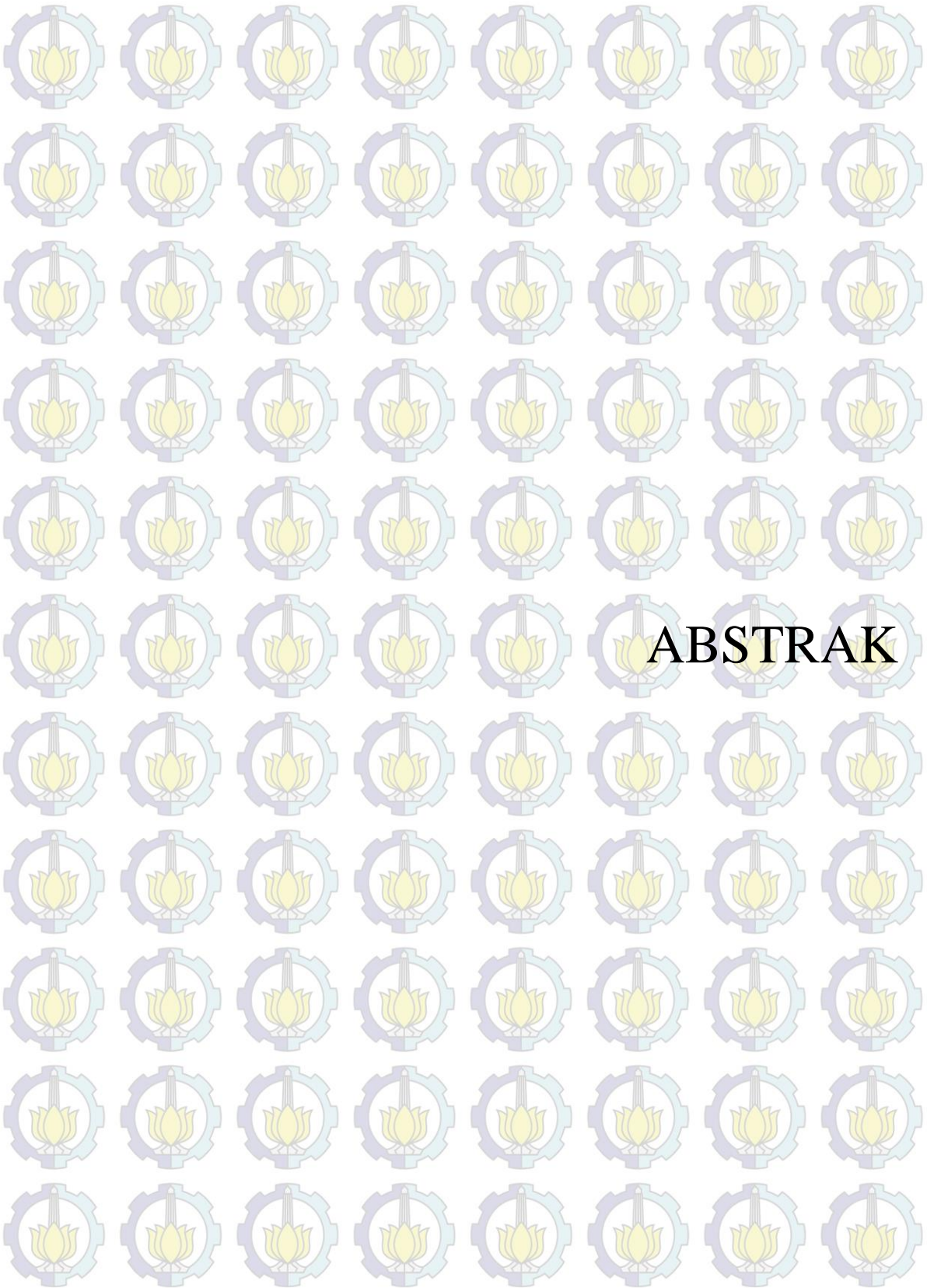


Kepala Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan



  
Dr. Eng. Arie Dwiarez Syafe'i, ST., MEPM  
NIP: 19820119 200301 1 001





# ABSTRAK

## KAJIAN EFEKTIVITAS PENGOLAHAN LINDI SECARA ELEKTROKIMIA DALAM MENGURAIKAN POLUTAN ORGANIK DAN NITROGEN

Nama Mahasiswa : Badriyah Rosyidah  
NRP : 03211850010011  
Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD

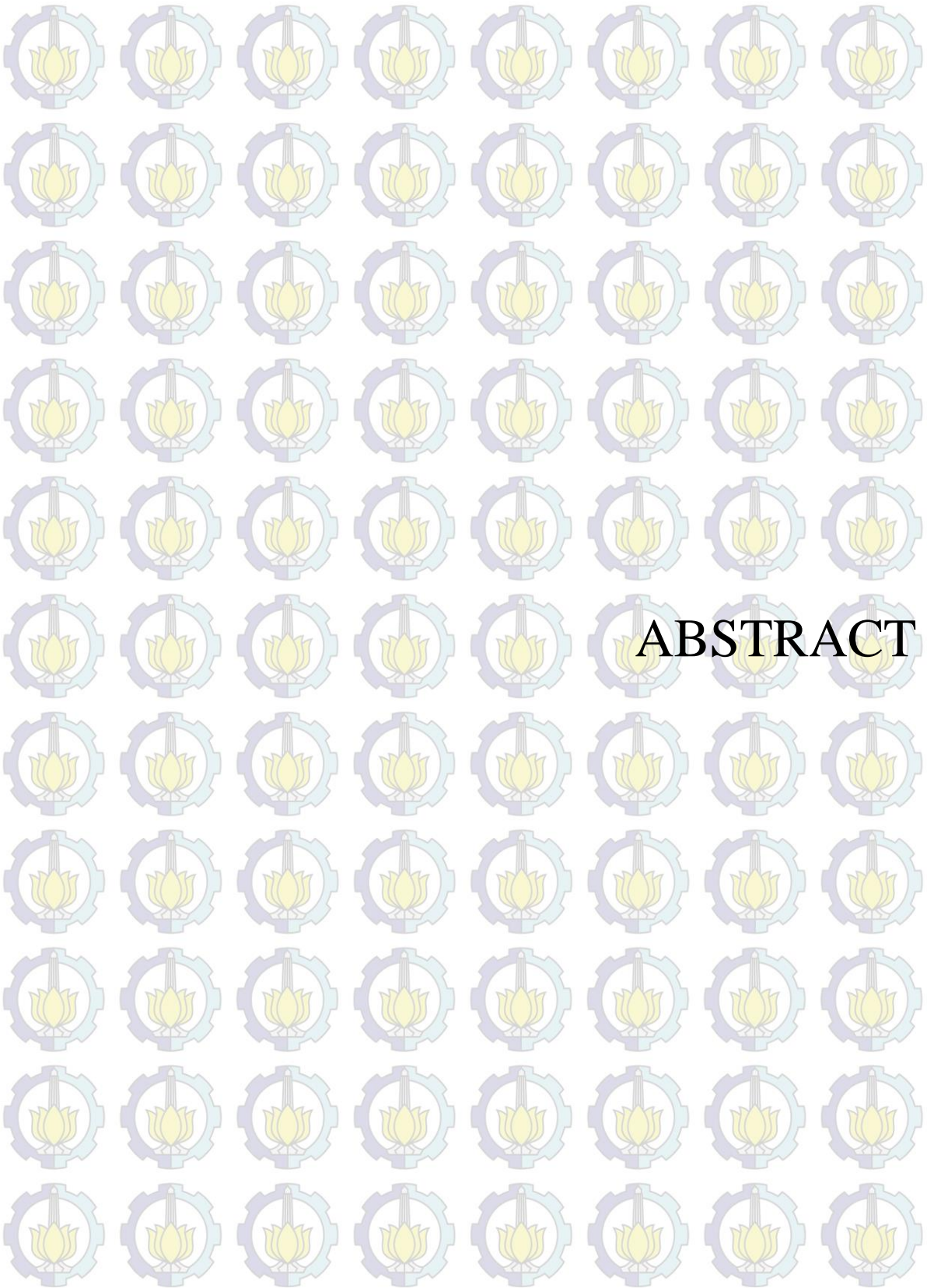
### ABSTRAK

Karakteristik lindi dalam jangka waktu yang panjang menyebabkan lindi harus diolah menggunakan teknologi yang dapat menguraikan kandungan recalcitrant dan xenobiotic. Mengakibatkan dibutuhkan pengolahan lindi yang matang untuk mencapai standar baku mutu dan biaya yang dapat ditekan. Elektrokimia sebagai *pre-treatment* pengolahan dapat menaikkan rasio biodegradabilitas lindi sebelum lindi diolah ke pengolahan biologis. Elektrokimia bekerja dengan prinsip penguraian polutan menggunakan *breakpoint* klorinasi. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji pengaruh anoda dan kuat arus terhadap penguraian organik dan nitrogen, menentukan kebutuhan energi serta besaran biaya operasional reaktor pada penurunan organik optimum.

Penelitian ini menggunakan elektroda dengan variasi kuat arus, anoda non aktif Boron Doped Diamond (BDD) dan Dimensional Stable Anode (DSA) platina dengan luas 24 cm<sup>2</sup>. Penelitian ini menggunakan metode membran CMI 7000, AMI 7000. Diharapkan dapat menekan biaya operasi proses. *Running* reaktor yang bekerja secara *batch* dilakukan dengan debit pengolahan sebesar 2 mL/det dengan volume 5 L selama 12 jam. Kerapatan arus dilakukan pada variasi 33,33 mA/cm<sup>2</sup>, 29,17 mA/cm<sup>2</sup>, dan 25 mA/cm<sup>2</sup>.

Nilai optimum degradasi organik berupa Chemical Oxygen Demand (COD) dan ammonium-nitrogen terjadi pada anoda BDD (33,3 mA/cm<sup>2</sup>). Polutan COD terurai sebesar 82,38% (2.890 mg/L) dan ammonia-nitrogen sebesar 62,28% (147,42 mg/L). BDD mampu menguraikan polutan organik dan ammonium lebih efektif dibanding platina. Kebutuhan energi spesifik optimum penguraian COD sebesar 68 kWh/g COD dengan biaya operasional BDD sebesar Rp 129.422,00/g COD.

Kata kunci: anoda BDD, anoda Platina, Membran penukar ion, dan Pengolahan lindi.



## EFFECTIVENESS STUDY OF LEACHATE BY ELECTROCHEMICAL FOR DEGRADATION ORGANIC AND NITROGEN POLLUTANS

Student name : Badriyah Rosyidah

NRP : 03211850010011

Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD

### ABSTRACT

The characteristics of leachate in the long-operated sanitary landfill further treatment technology that can remove recalcitrant and xenobiotic compounds. Electrochemical treatment is an alternative of pre-treatment that can increase the leachate biodegradability ratio prior to the biological treatment. The electrochemical process works with the principle of breaking down of non biodegradable organic pollutants using the generated strong oxidative agents. The purpose of this study is to examine the effect of anode material and electrical current density on the degradation of organic and nitrogen contaminants. Also the magnitude of operational reactor costs at optimum degradation of organic measurement is discussed.

In this study, two anode materials were investigated, i.e., Boron Doped Diamond (BDD) to represent inert anode and platina (Pt) to represent Dimensionally Stable Anode (DSA) with 24 cm<sup>2</sup> of effective surface area. The reactor was designed by applying CMI 7000 and AMI 7000 membranes, to improve the removal efficiency, and thus expected to reduce the operating costs. Reactor was operated at batch compartment with flowrate of 2 L/min at batch compartment with discharge 2 mL/sec and feed volume of 5 L for 12 hours. In addition, the electrical current density was 33,33 mA/cm<sup>2</sup>, 29,17 mA/cm<sup>2</sup> dan 25 mA/cm<sup>2</sup>.

The optimum value of organic degradation as Chemical Oxygen Demand (COD) and ammonium-nitrogen was achieved at 33,33 mA/cm<sup>2</sup>. COD was reduced to 82,38% (2.890 mg/L) and ammonium-nitrogen was reduced to 62,28% (147,42 mg/L). BDD was able to be reduced more effective than platinum. The optimum specific energy requirements for organic decomposition was 68 kWh/g COD, with the BDD operating costs was Rp 129.422,00/g COD.

Keywords: BDD anode, Ion exchange membrane, Landfill leachate and Platina anode.







KATA PENGANTAR

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberi ilmu, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis berjudul “Kajian Efektifitas Pengolahan Lindi secara Elektrokimia dalam Menguraikan Polutan Organik dan Nitrogen”. Atas bimbingan dan dukungan yang diberikan hingga selesainya laporan tesis ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M. Phil., Ph.D, selaku dosen pembimbing tesis. Terima kasih atas ilmu, kesabaran, dan motivasi yang telah diberikan.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc., Bapak Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T., dan Bapak Dr. Abdu F. Assomadi, S.Si., M.T., selaku dosen penguji. Terima kasih atas arahan, kritik, kesabaran dan saran yang membangun.
3. Bapak Hadi Sutrisno, Bapak Ashari, Bapak Edy, dan Bu Iin selaku laboran yang senantiasa membantu selama belajar di laboratorium.
4. Ibu, Buya, dan saudara yang telah membantu, doa, semangat dan materi selama penyelesaian tesis.
5. Teman-teman sarjana dan pascasarjana yang telah memberikan doa serta dukungan selama proses belajar.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tesis ini. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis



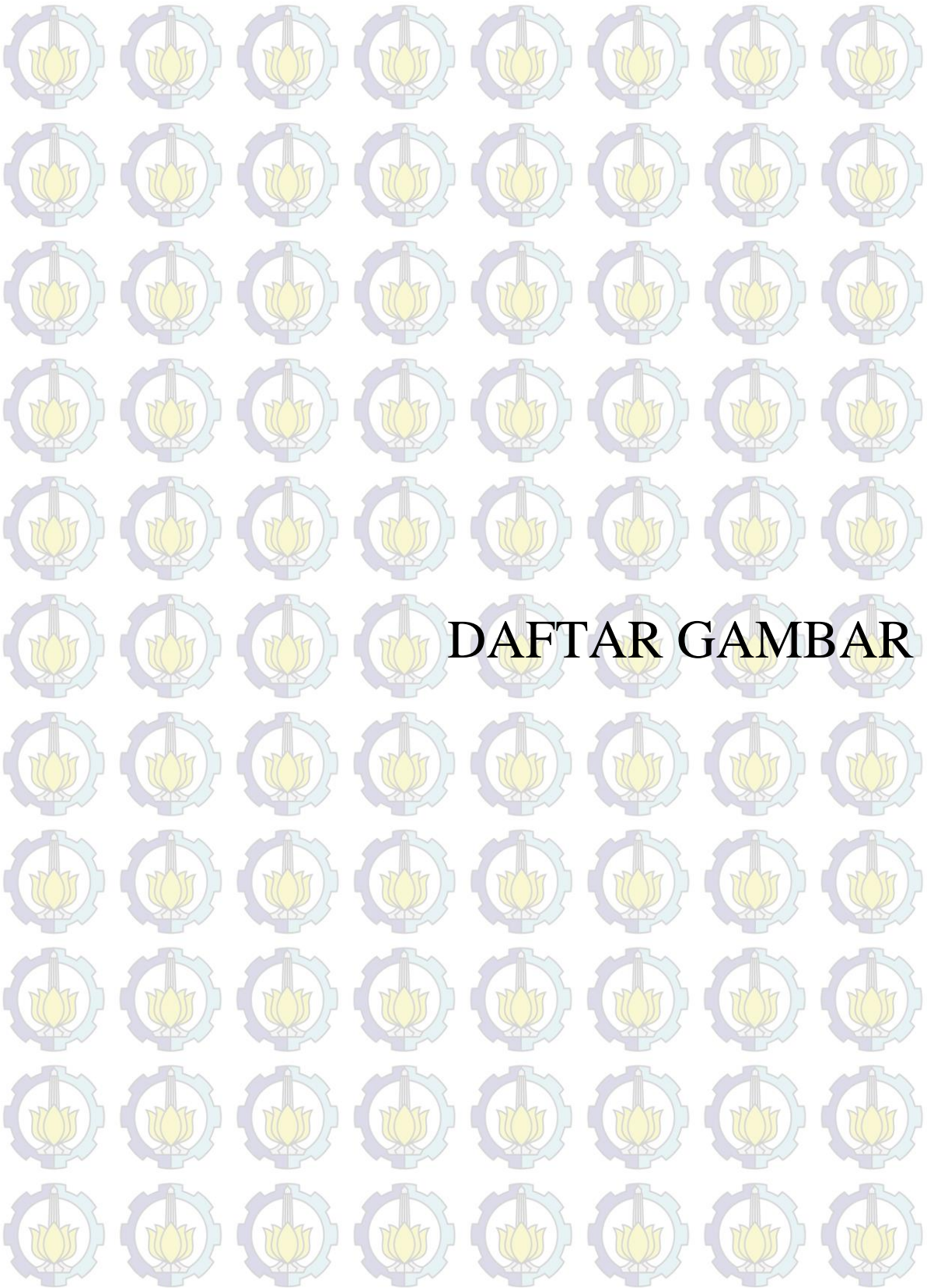
**DAFTAR ISI**



## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Ruang Lingkup .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Karakteristik Lindi.....	7
2.2 Teknologi Pengolahan Lindi.....	9
2.3 Proses Elektrokimia .....	11
2.3.1 Proses Elektro dialisis.....	11
2.3.2 Mekanisme Degradasi Polutan Organik .....	13
2.3.3 Mekanisme Degradasi Nitrogen .....	16
2.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Elektrokimia.....	18
2.3.5 Perhitungan Kebutuhan Energi.....	21
2.3.6 Penelitian Terdahulu .....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	25
3.1 Kerangka Penelitian .....	25
3.2 Studi Literatur.....	26
3.3.1 Penelitian Pendahuluan.....	27
3.3.1.1 Uji Karakteristik Lindi.....	27
3.3.1.2 Penyusunan Reaktor .....	27
3.3.1.3 Skema Elektro dialisis .....	30
3.3.1.4 Uji Polarisasi.....	32

3.3.1.5 Penentuan Waktu Detensi .....	32
3.4 Penentuan Variabel .....	33
3.5 Parameter Analisa .....	34
3.6 Pelaksanaan Penelitian.....	35
3.7 Pembahasan dan Kesimpulan .....	36
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Penelitian Pendahuluan.....	37
4.1.1 Karakteristik Awal Lindi .....	37
4.1.2 Uji Polarisasi.....	38
4.1.2 Penentuan Waktu Detensi .....	40
4.1.3 Perhitungan <i>Limiting Current</i> .....	43
4.2 Pengolahan Lindi secara Elektrokimia .....	44
4.2.1 Proses Elektro dialisis.....	45
4.2.2 Penguraian Polutan Organik .....	46
4.2.3 Penguraian Polutan Nitrogen .....	47
4.2.3 Pengaruh pH .....	49
4.2.5 Kebutuhan Energi .....	50
4.2.6 Biaya Operasional.....	51
4.2.7 Aplikasi Studi Elektrokimia.....	52
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN I PROSEDUR PENELITIAN .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN II DATA PENELITIAN.....</b>	<b>76</b>
<b>LAMPIRAN III DOKUMENTASI PENELITIAN .....</b>	<b>89</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>95</b>

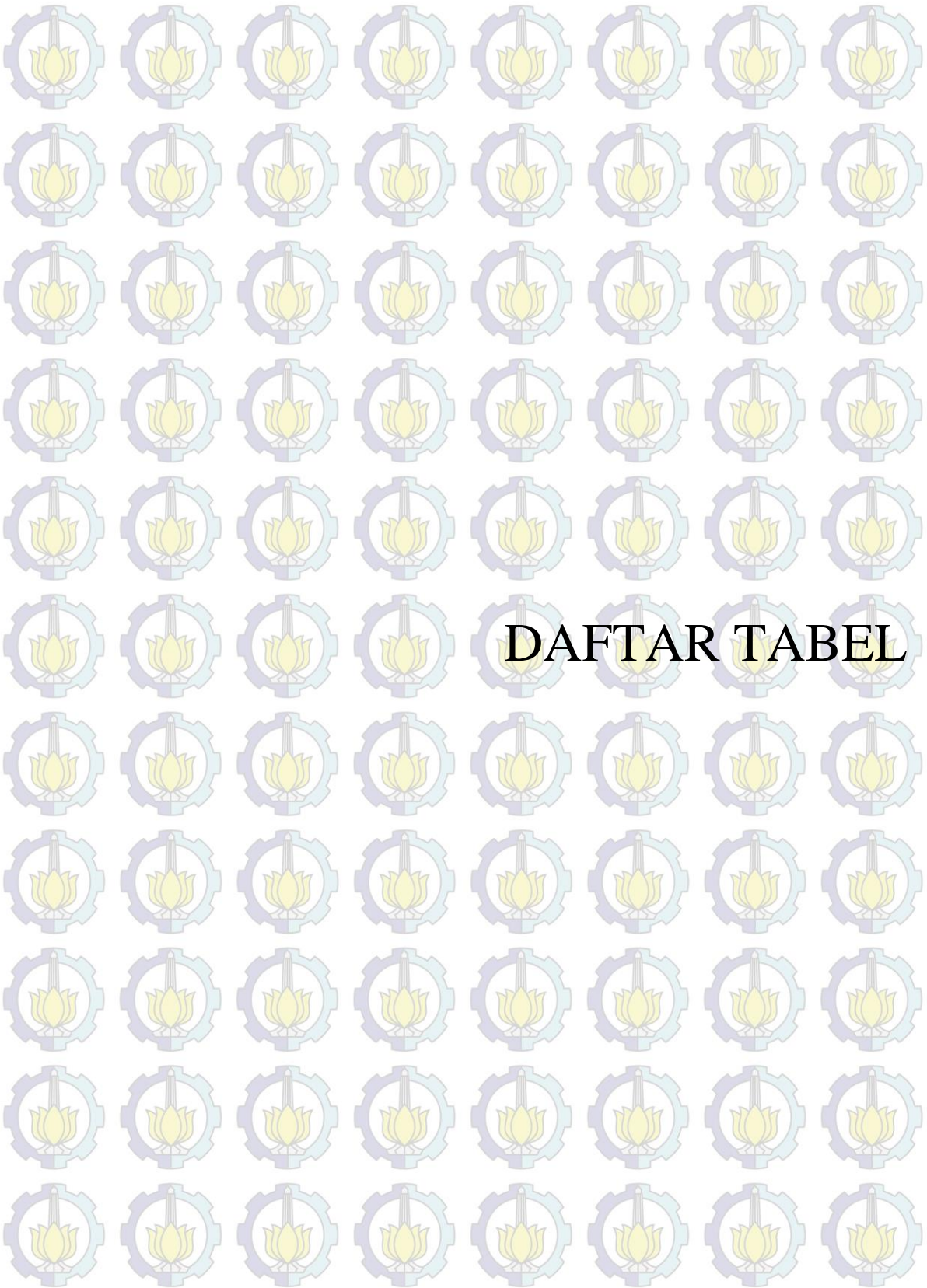


DAFTAR GAMBAR

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Proses Elektro dialisis .....	12
Gambar 2. 2 Skema Reaksi Oksidasi Langsung dan Tidak Langsung .....	16
Gambar 2. 3 Distribusi Perubahan klor dan Ammonia berdasarkan pH.....	18
Gambar 3. 1 Diagram Kerangka Studi.....	26
Gambar 3. 2 Rangkaian Reaktor Elektrokimia Tampak Atas.....	27
Gambar 3. 3 Potongan A-A Reaktor Elektrokimia .....	28
Gambar 3. 4 Skema Proses Reaktor Elektrokimia .....	31
Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Uji Polarisasi pada BDD .....	39
Gambar 4. 2 Hasil Pengukuran Uji Polarisasi pada Platina.....	39
Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran COD pada Penentuan Waktu Detensi.....	41
Gambar 4. 4 Hasil Kadar $\text{NO}_3$ , $\text{NO}_2$ dan $\text{NH}_4$ Anoda BDD pada Penentuan Waktu Detensi.....	42
Gambar 4. 5 Hasil Kadar $\text{NO}_3$ , $\text{NO}_2$ dan $\text{NH}_4$ Anoda Pt pada Penentuan Waktu Detensi.....	42
Gambar 4. 6 Pengaruh Membran pada TDS dan pH Anoda BDD .....	43
Gambar 4. 7 Pengaruh Membran pada TDS dan pH Anoda BDD .....	43
Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran TDS pada Variasi Kuat Arus .....	45
Gambar 4. 9 Hasil pengukuran COD .....	46
Gambar 4. 10 Hasil $\text{NH}_4$ , $\text{NO}_3$ , dan $\text{NO}_2$ pada Anoda BDD .....	48
Gambar 4. 11 Komposisi $\text{NH}_4$ , $\text{NO}_3$ , dan $\text{NO}_2$ pada Anoda Pt.....	48
Gambar 4. 12 Kondisi pH dalam proses oksidasi di anoda BDD dan Platina .....	49





**DAFTAR TABEL**

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Karakteristik Lindi berdasarkan Umur TPA.....	7
Tabel 2. 2 Karakteristik Lindi di Jawa Timur.....	8
Tabel 2. 3 Alternatif Teknologi Pengolahan Lindi .....	9
Tabel 2. 4 Perbandingan Jenis Membran AEM & CEM .....	12
Tabel 2. 5 Perbandingan Potensi dan SHE pada Anoda .....	19
Tabel 2. 6 Ringkasan Penelitian Terdahulu .....	23
Tabel 3. 1 Parameter Uji pada Penelitian.....	34
Tabel 3. 2 Matriks Sampel yang Dianalisis .....	35
Tabel 3. 3 Kebutuhan Sampel terhadap masing-masing Parameter.....	36
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Karakteristik Awal Lindi.....	37
Tabel 4. 2 Kebutuhan Energi Spesifik .....	50
Tabel 4. 3 Biaya Operasional terhadap Variasi Penelitian.....	51
Tabel 4. 4 Kelebihan dan Kekurangan Aplikasi Elektrokimia .....	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



# BAB I

## PENDAHULUAN

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sampah dan TPA (Tempat Pembuangan Akhir) mendapat perhatian dalam beberapa dekade terakhir (Abd El-Salam dan Abu-Zuid, 2015). Salah satu masalah penting yang terkait dengan desain, operasi dan perawatan jangka panjang TPA adalah mengelola lindi (Zolfaghari *et al.*, 2016). Lindi memerlukan pengolahan jangka panjang karena bersifat persisten (Hung *et al.* 2013). Proses pembentukan lindi terjadi ketika uap air memasuki sampah mengekstraksi kontaminan ke dalam fase cair hingga menghasilkan kadar air (Roy *et al.*, 2018).

Komposisi lindi terdiri dari berbagai jenis polutan diantaranya senyawa anorganik (ammonium, kalsium, kalium, sulfat, klorida, dan logam berat), organik (bahan organik terlarut dan partikular, asam mudah menguap hingga xenobiotic) serta mikroorganisme patogen (Hung *et al.*, 2013; Krogmann dan Woyczehowski, 2000; Roy *et al.*, 2018). Polutan organik dan nitrogen adalah parameter utama yang perlu dipertimbangkan sebagai dasar pencemaran lingkungan. Kontaminan tersebut mempengaruhi laju eutrofikasi lingkungan akuatik sehingga dibutuhkan pengolahan sebelum dibuang ke badan air (Silva *et al.*, 2004). Selain itu, nitrogen dipilih sebagai inti parameter karena adanya perbedaan parameter baku mutu pada efluen lindi yang diatur oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.59/MenLHK/Setjen/Kum.1/7/2016 serta Peraturan Menteri PU No. 03/PRT/M/2013, yakni parameter ammonia, nitrit, nitrat, dan N total.

TPA Blandongan (Kota Pasuruan) mengolah lindi dengan unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), fakultatif, maturasi, dan filter batu koral untuk menguraikan polutan kompleks dan *recalcitrant* lindi. TPA Blandongan tergolong *mature landfill* karena sudah beroperasi sejak tahun 2006. Karakteristik utama lindi yang berasal dari *mature landfill* adalah konsentrasi senyawa organik dan nitrogen yang tinggi (Liu *et al.*, 2013).



Pengolahan *mature landfill* secara biologis sering kali tidak efektif. Sebagai alternatifnya, pengolahan secara fisik-kimia menjadi rekomendasi sebagai *pre-treatment* sebelum lindi diolah secara biologis (Aloui *et al.*, 2009). Rasio BOD/COD pada influen pengolahan lindi adalah 0,2-0,53 (Laporan Dinas Lingkungan Hidup (DLH), 2018). Pada kondisi ini, masih ditemukan data efluen pengolahan lindi yang melebihi standar baku mutu yakni BOD dan COD sebesar 223 mg/L dan 857 mg/L (Laporan DLH, 2018). Kandungan organik lindi dari penimbunan sampah dapat didegradasi oleh pengolahan biologis (Renou *et al.*, 2008). Namun, keberadaan garam dan logam berat mengakibatkan beban yang terlalu tinggi sehingga diperlukan *pre-treatment* untuk menurunkan kandungan *recalcitrant*. Kendala lain yang terjadi dari hasil wawancara lapangan adalah fluktuatifnya debit pengolahan.

Pengolahan lindi dengan elektrokimia dapat menguraikan ion anorganik dan garam pada lindi (Ramprasad dan Gopalakrishnan, 2012). Elektrokimia memiliki kelebihan pengoperasian yang mudah, waktu yang pendek serta menghasilkan lumpur yang mudah diendapkan menjadi solusi dalam pengolahan pertama sebelum limbah diolah menggunakan konsep biologis (Silva *et al.*, 2004). Namun, konsumsi energi menjadi masalah utama proses elektrokimia dalam penerapan teknologi di lapangan (Renou *et al.* 2008). Berbagai penelitian tentang pengolahan lindi TPA menunjukkan proses ini secara efektif dapat mengurangi dua polutan utama yang ada dalam lindi yakni bahan organik dan ammonium-nitrogen. Selain itu, proses ini mampu meningkatkan indeks biodegradabilitas (BOD/COD) dari lindi sehingga lindi dapat diolah ke tahap selanjutnya secara biologis (Mandal *et al.* 2017).

Pengolahan lindi harus dikombinasikan antara fisika, kimia, dan biologis karena penggunaan pengolahan secara biologis hanya efektif dilakukan pada rasio BOD<sub>5</sub>/COD yang tinggi (Müller *et al.*, 2015). Dimana rasio ini hanya didapatkan pada awal proses TPA berlangsung. Sebaliknya, penggunaan pengolahan biologis tanpa kombinasi umumnya gagal untuk menghasilkan efluen yang sesuai baku mutu. Oleh karenanya proses biologis saja tidak akan efektif. Dibutuhkan kombinasi pengolahan untuk

mencapai biaya yang rendah dan efluen pengolahan yang sesuai dengan standar baku mutu (Zhang *et al.*, 2011).

Zolfaghari *et al* (2016) menyebutkan elektrokimia dengan anoda Ti/BDD arus 3 A selama 2 jam mampu menurunkan COD musim kemarau dari konsentrasi awal 564 mg/L menjadi 89 mg/L dan COD di musim dingin sebesar 1.003 mg/L menjadi 435 mg/L. Labiadh *et al.* (2016) menggunakan BDD sebagai anoda dan katoda untuk mengolah lindi selama 24 jam dengan kuat arus 4,9 A. Pada karakteristik awal COD 9.900 mg/L dan Ammonium Nitrogen 3.200 mg/L menghasilkan removal sebesar 60% dan 33%. Feki *et al* (2009) mengolah lindi dari efluen MBR (Membrane Bioreactor) menggunakan variasi Ti/Pt, grafit, dan PbO<sub>2</sub>. Ti/Pt sebagai variasi anoda optimum dalam menurunkan kualitas COD, TKN dan warna. Pada karakteristik efluen MBR COD dan TKN sebesar 2.750 mg/L dan 416 mg/L pengolahan selama 1 jam (densitas 4A/dm<sup>2</sup>) dapat menghasilkan efluen sebesar 1000 mg/L dan 82 mg/L. Proses oksidasi lindi yang berasal dari Tunisia ini menghabiskan energi sebesar 127 kWh/kg COD. Del Moro *et al* (2016) menyebutkan pengolahan lindi dengan anoda Dimensionally Stable Anodes (DSA) pada densitas 200 mA/cm<sup>2</sup> selama 4 jam. Karakteristik lindi pada parameter COD 2.259 mg/L dapat diuraikan menjadi 485 mg/L. Proses penguraian polutan organik ini membutuhkan energi sebesar 465,2 kWh/m<sup>3</sup>.

Guna menjamin lindi dapat dibuang ke badan air sesuai peraturan menteri, beberapa literatur menyebutkan penggunaan kombinasi elektrokimia dan MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) mampu menurunkan polutan nitrogen dan efisien berdasarkan lahan dan debit yang fluktuatif (Renou *et al.*, 2008; Dezotti *et al.*, 2017). Integrasi pengolahan lindi secara elektrokimia-MBBR dinilai mampu menurunkan polutan organik dan nitrogen yang tepat untuk lahan yang terbatas (Aloui *et al.*, 2009; Zhuang *et al.*, 2014; Wida & Herumurti, 2018). Berdasarkan penelitian sebelumnya Aloui *et al* (2009) menggunakan kombinasi pengolahan lindi secara elektro-oksidasi dan MBBR dengan menggunakan elektroda Pt/Ti dalam waktu 1 jam kepadatan arus 40A/cm<sup>2</sup> mampu

mereduksi COD hingga 1.000 mg/L dan TKN 86 mg/L dengan konsumsi energi 60 kWh/kg COD.

Boron Doped Diamond (BDD) merupakan anoda non-aktif yang efektif dan mempunyai evolusi potensial oksigen yang tinggi dalam proses oksidasi (Siddharth *et al.*, 2018). BDD memiliki kemampuan menguraikan polutan organik yang tinggi dibanding DSA (Fernandes *et al.*, 2014; Brillas *et al.*, 2016; Ukundimana *et al.*, 2018). Namun pada kerapatan arus yang sama DSA memiliki konsumsi energi yang lebih efektif dari pada BDD. Studi ini akan mengkaji lebih lanjut perbedaan signifikan penguraian polutan organik dan nitrogen sebagai *pre-treatment* pengolahan lindi. Pada perkembangannya analisis efisiensi energi hingga aspek finansial operasi reaktor dalam skala pilot dikaji untuk memberikan rekomendasi elektrokimia sebagai *pre-treatment* pengolahan lindi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian kali ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh anoda dan kuat arus dalam menguraikan polutan organik?
2. Bagaimana pengaruh anoda dan kuat arus dalam menguraikan polutan nitrogen?
3. Berapa energi yang dibutuhkan pada proses optimum oksidasi dalam menguraikan polutan organik?
4. Bagaimana aspek finansial operasi reaktor pada skala pilot?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan studi ini adalah:

1. Mengkaji pengaruh anoda dan kuat arus dalam menguraikan polutan organik.
2. Mengkaji pengaruh anoda dan kuat arus dalam menguraikan polutan nitrogen.
3. Menentukan kebutuhan energi proses optimum elektro oksidasi dalam menguraikan polutan organik.
4. Mengkaji aspek finansial pada operasi reaktor pada skala pilot.

#### **1.4 Ruang Lingkup**

Batasan studi ini adalah sebagai berikut:

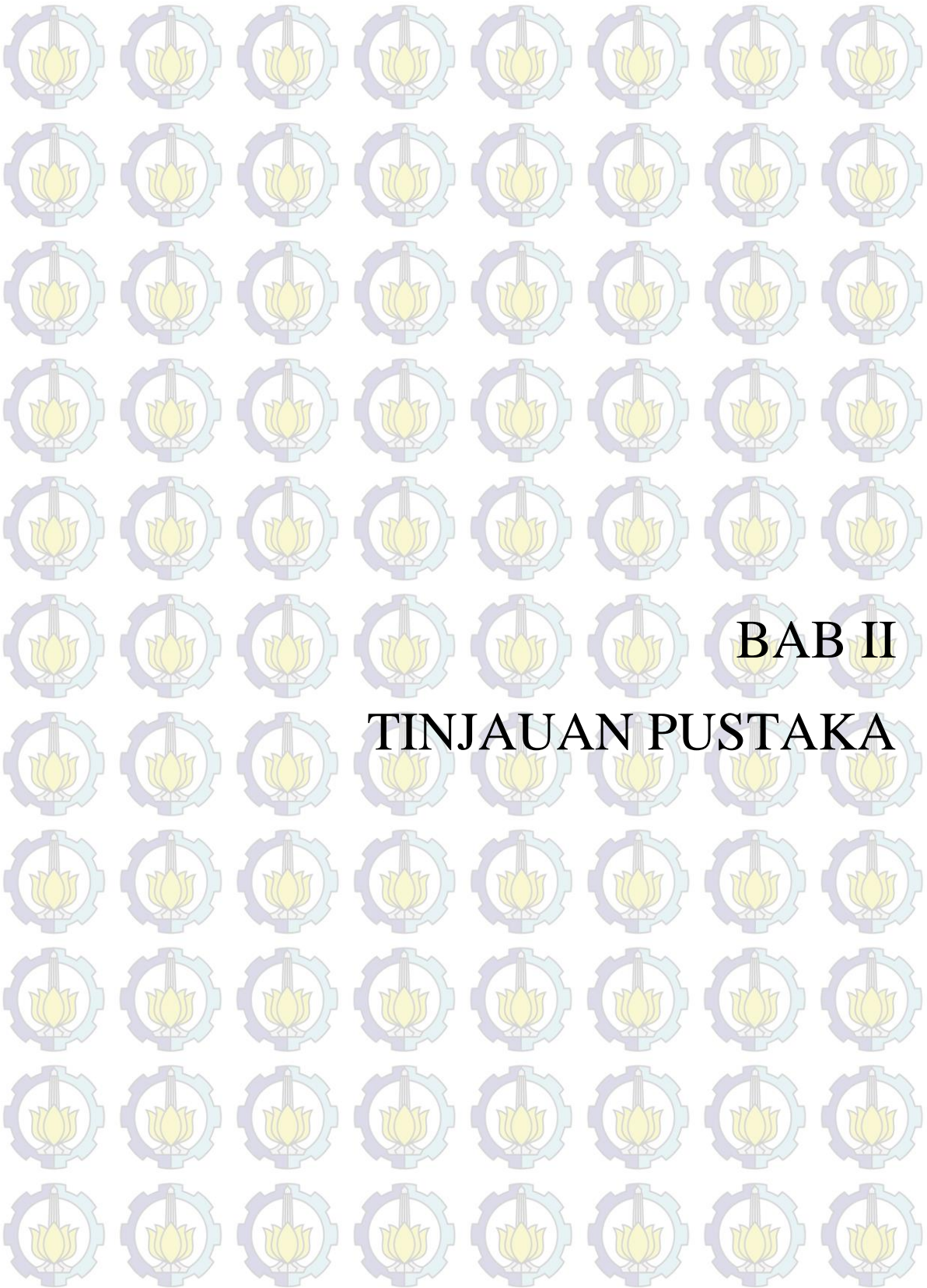
1. Lindi berasal dari TPA Blandongan, Kota Pasuruan Provinsi Jawa Timur.
2. Reaktor elektro oksidasi disusun secara *batch* elektro dialisis (*divided cell*) dengan membran Cation Exchange Membrane (CEM tipe CMI 7000) dan Anion Exchange Membrane (AEM tipe AMI 7000).
3. Penelitian menggunakan 3 variasi, antara lain:
  - a. Jenis anoda: BDD (anoda non aktif) dan Platina sebagai Dimensional Stable Anode (DSA).
  - b. Kuat arus: 600, 700, dan 800 mA.
  - c. Aspek finansial pada reaktor skala pilot meliputi biaya operasional kebutuhan energi untuk menguraikan organik optimum.
4. Standar uji yang digunakan pada penelitian mengikuti panduan metode standar APHA masing-masing parameter uji. Parameter uji yang dianalisa antara lain: Chemical Oxygen Demand (COD), ammonium, nitrit, nitrat, Total Dissolved Solid (TDS), pH, konduktivitas, dan salinitas.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi *pre-treatment* pengolahan lindi sebagai kebijakan pengelola TPA (swasta maupun negeri) dan informasi ilmiah dalam menciptakan inovasi sistem pengolahan lindi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”





## BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Karakteristik Lindi

Lindi merupakan produk samping hasil penguraian sampah. Proses pembentukan lindi terdiri dari tiga sumber, yakni kadar air dari sampah organik sendiri, air hasil dari reaksi biokimia dan penambahan air dari hujan atau penyesuaian kadar air di lingkungan (Fudala-Ksiazek *et al.*, 2018). Lindi meresap melalui limbah biogenik dan terakumulasi oleh zat organik dan anorganik melalui transfer massa padat ke cair (Roy *et al.*, 2018). Untuk menghindari filtrasi ke tanah bahkan air tanah, sel dilengkapi dengan alas *geo textile* untuk mencegah infiltrasi lindi. Lindi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti iklim, jenis sampah yang masuk ke TPA dan umur TPA. Karakteristik kandungan lindi berdasarkan umur TPA dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik Lindi berdasarkan Umur TPA

Parameter	Umur TPA		
	Muda	Medium	Tua
Umur (tahun)	<5	5-10	>10
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
COD (mg/L)	>10.000	4000-10.000	<4.000
BOD <sub>5</sub> /COD	>0,3	0,1-0,3	<0,1
NH <sub>3</sub> -N	<400	-	>400
Logam berat	Rendah-sedang	Rendah	Rendah

Sumber: Renou *et al* (2008); Ahmed dan Lan (2012)

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa TPA yang berumur muda menghasilkan lindi dengan sifat biodegrabilitas yang tinggi. Sebaliknya lindi pada TPA berumur tua (lebih dari 10 tahun) menghasilkan sifat

biodegradabilitas yang rendah. Ragam komponen lindi semakin kompleks dengan bertambahnya umur lindi dan jenis sampah yang masuk pada TPA. Beberapa literatur membagi komponen lindi berdasarkan jenis kandungannya yakni polutan organik, anorganik, dan organik xenobiotic. Dimana polutan organik diantaranya asam, alkohol, aldehida (biasa dikualifikasikan sebagai COD, BOD, Dissolved Organic Carbon (DOC), dan asam lemak volatil. Polutan anorganik terdiri dari: sulfat klorida, ammonium, kalsium, magnesium, natrium, kalium, hidrogen karbonat, besi, mangan, dan logam berat (timbal, nikel, tembaga, kadmium, kromium, dan zink). Sedangkan pada polutan organik xenobiotic terdiri dari hidrokarbon aromatik, fenol, alifatik klorinasi, pestisida, dan kandungan plastic (Lee *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2012; Long *et al.*, 2020)

Karakteristik lindi di Jawa Timur dengan sistem TPA *open dumping* dan *sanitary* dapat dilihat pada Tabel 2.2. Karakteristik lindi suatu TPA dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: jenis sampah yang dominan masuk, sistem hidrologi, tingkat kelembapan, dan umur TPA (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Umur TPA pada subjek lindi di bawah ini berada pada *range* umur 8-15 tahun.

Tabel 2. 2 Karakteristik Lindi di Jawa Timur

Parameter	Satuan	Ngipik	Pasuruan <sup>c</sup>	Mojokerto <sup>c</sup>	Probolinggo <sup>c</sup>	PerMen LHK	PerMen PU
BOD	mg/L	165,55 <sup>a</sup> , 350 <sup>b</sup>	3.326	692	2.332	150	150
COD	mg/L	1552 <sup>a</sup> , 2040 <sup>b</sup>	6.160	1.280	4.320	300	300
Ammonia	mg/L	279,17 <sup>a</sup> , 535 <sup>b</sup>	2.877,68	2.230,08	2.931,68	-	5
TDS	mg/L	3.126,7 <sup>a</sup> , 10.740 <sup>b</sup>	10.300	9.410	10.310	100	400
Salinitas	‰	-	9,42	7,63	9,94	-	-
Total N	mg/L	321,4	3147,47	2967,61	3291,98	60	-
pH	-	8,42 <sup>a</sup> , 8,5 <sup>b</sup>	8,4	8,3	8,2	6-9	-

Sumber: <sup>a</sup>Sidik,F (2019), <sup>b</sup>Agustina (2018), dan <sup>c</sup>Hasil sampling (2019).

Dari Tabel 2.2 diketahui bahwa karakteristik lindi dalam satu provinsi tidak dapat disamakan. Hal ini disebabkan adanya perbedaan

kapasitas pelayanan, volume sampah yang masuk, intensitas hujan serta pengambilan sampel pada waktu yang berbeda. Sampel Pasuruan, Mojokerto, dan Probolinggo diambil pada bak penampung di musim hujan (bulan basah). Jika kadar polutan berada di atas baku mutu, maka pengolahan lindi mutlak dilakukan untuk mencegah pencemaran lingkungan. Standar baku mutu lindi berdasarkan arahan Peraturan kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PerMen LHK) dan Peraturan kementerian Pekerjaan Umum (PerMen PU).

## 2.2 Teknologi Pengolahan Lindi

Pengolahan lindi dapat dilakukan dengan proses kimia, fisika maupun biologis. Karena kandungan *recalcitrant* dan *xenobiotic* pada lindi serta kandungan organik dan nitrogen yang fluktuatif, lindi harus dikelola dengan pengolahan yang dilakukan secara kombinasi (Roy et al., 2018). Adapun teknologi proses pengolahan lindi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Alternatif Teknologi Pengolahan Lindi

Teknologi proses	Karakteristik lindi			Rata-rata removal (%)					Residu
	Muda	Medium	Tua	BOD	COD	TKN	SS	kekeruhan	
Fisik-Kimia									
Koagulasi/flokulasi	Buruk	Cukup	Cukup	-	40-60	<30	>80	>80	Lumpur
Presipitasi kimia	Buruk	Cukup	Buruk	-	<30	<30	30-40	>80	Lumpur
Adsorpsi	Buruk	Cukup	Baik	>80	70-90	-	-	50-70	-
Oksidasi	Buruk	Cukup	Cukup	-	30-90	-	-	>80	Residu O <sub>3</sub>
<i>Stripping</i>	Buruk	Cukup	Cukup	-	<30	>80	-	30-40	Udara – NH <sub>3</sub>
Biologis									
Aerobik	Baik	Cukup	Buruk	>80	60-90	>80	60-80	-	Biomassa berlebih
Anaerob	Baik	Cukup	Buruk	>80	60-	>80	60-	-	Biomassa

Teknologi proses	Karakteristik lindi			Rata-rata removal (%)					Residu
	Muda	Medium	Tua	BOD	COD	TKN	SS	kekeruhan	
					80		80		berlebih
Bioreaktor membran	Baik	Cukup	Cukup	>80	>85	>80	>99	40-60	Biomassa berlebih

Sumber: Renou *et al* (2008)

Dari tabel di atas dapat diketahui masing-masing kelebihan dan kekurangan pada teknologi pengolahan lindi. Pemilihan teknologi bisa dipilih sesuai kebutuhan dan kapasitas lapangan yang ada. Gupta dan Singh (2007) menyebutkan berdasarkan perawatan pengolahan secara biologis dari lindi TPA menarik dan mungkin merupakan proses termurah untuk menguraikan *recalcitrant*, COD, dan nitrogen dalam lindi. Pengolahan secara biologis hanya efektif dilakukan pada rasio BOD<sub>5</sub>/COD yang tinggi (Müller *et al.*, 2015). Dimana rasio ini hanya didapatkan pada awal proses TPA berlangsung. Sebaliknya, penggunaan pengolahan biologis tanpa kombinasi umumnya gagal untuk menghasilkan efluen yang sesuai baku mutu. Karena itu, proses biologis saja tidak akan efektif, dibutuhkan kombinasi pengolahan untuk mencapai biaya yang rendah dan efluen pengolahan yang legal (Zhang *et al.*, 2011).

Beberapa literatur menyebutkan pengolahan fisik-kimia seperti AOP (Advanced Oxidation Processes) dapat menguraikan *recalcitrant* lindi yang bersifat toksik pada mikroorganisme. Sistem AOP bekerja menguraikan polutan organik yang bersifat *recalcitrant* dengan membentuk hidroksil radikal yang dapat menaikkan rasio BOD<sub>5</sub>/COD dari 0,06 ke 0,05 mg/L pada dosis ozon 1,2 g/L (Bashir *et al.*, 2009; Ballesteros Martín *et al.*, 2010; Vincenzo Naddeo., 2013). Sistem AOP yang dapat digunakan pada pengolahan lindi diantaranya: ultraviolet, ozonasi, kombinasi oksidan dengan katalis seperti TiO<sub>2</sub>/UV, O<sub>3</sub>/UV, dan oksidasi fenton (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Aziz *et al.*, 2012). Proses oksidasi sebagian besar dipelajari oleh efektifitas proses sebelum/sesudah pengolahan biologis.

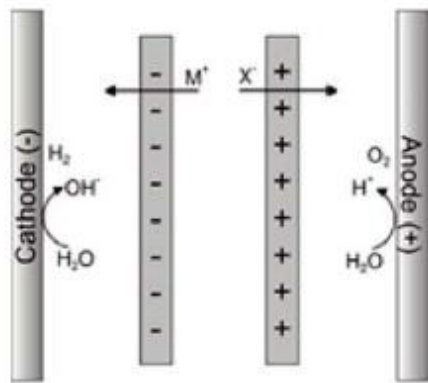


### **2.3 Proses Elektrokimia**

Elektrokimia merupakan metode pengolahan limbah secara fisika-kimia. Proses pengolahan elektrokimia yang utama meliputi elektro oksidasi (EO), elektro koagulasi, elektro fotasi, dan elektro dialisis. Efisiensi pengolahan EO bergantung pada bahan anoda dan perpindahan massa kontaminan dari larutan massal ke permukaan anoda (Moreira *et al.*, 2016). Selain itu keunggulan utama dari proses EO adalah tidak menghasilkan lumpur (Urriaga *et al.*, 2009). Fernandes *et al.* (2014) menyebutkan sebagian besar penelitian tentang elektrokimia untuk limbah difokuskan pada bahan anoda konfigurasi sel dan parameter operasi, termasuk rapat arus, dosis elektrolit, dan pH. Proses elektrokimia dengan penambahan bahan kimia dan peningkatan operasi kepadatan arus akan menghasilkan removal pengolahan yang lebih tinggi (Aziz *et al.*, 2012). Oksidasi anodik dalam elektrokimia menggunakan bahan anoda yang bervariasi, seperti Boron Doped Diamond (BDD), Dimensional Stable Anode (DSA), oksida film ( $\text{PbO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ), dan elektroda berbasis karbon.

#### **2.3.1 Proses Elektro dialisis**

Elektro dialisis adalah metode untuk memisahkan ion dengan bantuan membran selektif. Ion positif (kation) akan bergerak menuju katoda, sedangkan ion negatif (anion) menuju anoda (Sajjad *et al.*, 2019). Proses membran memiliki kelebihan yang lebih murah dan efisien dibanding proses pemurnian lainnya seperti kromatografi (Lech dan Trusek, 2018). Membran elektro dialisis secara mekanis dan kimia akan stabil meski dalam larutan elektrolit yang berbeda. Hal ini dapat digunakan dalam waktu yang lama terutama pada sistem proses yang kontinyu. Berbagai jenis sistem membran terus dikaji, diantaranya membran ditumpuk secara bergantian atau elektro dialisis pemisahan air dengan membran bipolar, sistem dalam satu tahap maupun multi tahap (Komesu *et al.*, 2017).



Gambar 2. 1 Skema Proses Elektro dialisis

Sumber: Lech dan Trusek (2018)

Anion Exchange Membrane (AEM) dan Cation Exchange Membrane (CEM) merupakan salah satu jenis membran yang dapat digunakan sebagai permeabilitas (kemampuan membran ion dalam proses elektro dialisis). AEM berfungsi melewatkan ion bermuatan negatif ( $X^-$ ). Komponen anion dapat berupa  $PO_4^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $NO_3^-$ , dan  $Cl^-$  (Sajjad *et al.*, 2019). Sedangkan CEM melewatkan ion bermuatan positif ( $M^+$ ) dapat berupa  $NH_4^+$ ,  $K^+$ , dan  $Na^+$ . Mekanisme efektifitas membran dipengaruhi oleh kapasitas penukar ion, ketebalan membran, transfer oksigen dan resistensi (Lech dan Trusek, 2018). Jenis membran yang umum digunakan diantaranya AM1 (Tokuyama Co., Japan), AFN (Tokuyama Co., Japan), AMI-7001 (Dupont Co., USA), Nafion 117 (Dupont Co.,USA),CMI 7000 (Dupont Co.,USA). Kapasitas penukar ion pada studi ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 4 Perbandingan Jenis Membran AEM & CEM

Membran	Anion Exchange Membrane			Cation Exchange Membrane		
	AM1	AFN	AMI 7000	CMI 7000	Nafion 117	SPEEK
Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )	160	180	460	450	183	180
Resisten	1	2	<40	45,1	15	-

Membran	Anion Exchange Membrane			Cation Exchange Membrane		
	AMI	AFN	AMI 7000	CMI 7000	Nafion 117	SPEEK
( $\Omega \text{ cm}^2$ )						
Transfer oksigen ( $\text{cm s}^{-1}$ )	$9 \times 10^{-5}$	$12 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$	$43 \times 10^{-5}$	-
Difusi oksigen ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ )	$14 \times 10^{-7}$	$19 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-7}$	$9 \times 10^{-7}$	$14 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{-6}$
Kapasitas penukar ion ( $\text{meq g}^{-1}$ )	1,2	0,8	1,3	1,6	0,95	1,4
Pori-pori ( $\mu\text{m}$ )			0,45	0,45		

Sumber: Lech dan Trusek (2018); Trelu et al. (2018)

Shofiana (2019) menyebutkan lindi *mature* memiliki *range* TSS (Total Suspended Solid) 100-700 mg/L. Nilai TSS yang tinggi dapat menyebabkan kejenuhan pada membran selama proses sehingga dibutuhkan *pretreatment* seperti pengendapan/filtrasi untuk mengurangi zat pengotor (Trelu et al., 2018). Pembersihan membran yang jenuh dapat dihilangkan dengan cara perendaman pada larutan asam kuat atau basa kuat (F. Wang & Tarabara, 2008). Acevedo et al (2011) menggunakan membran dalam menurunkan ion dalam lindi. Anoda Ti/Pt dan katoda SS kerapatan arus  $152,17 \text{ A/m}^2$  dan 9V dapat mendegradasi ion ammonium dan nitrat sebesar 100% (dalam masing-masing konsentrasi 35,09 ppm dan 144,2 ppm).

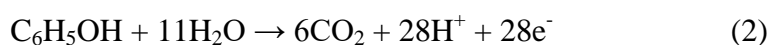
### 2.3.2 Mekanisme Degradasi Polutan Organik

Polutan dihancurkan baik secara oksidasi langsung atau tidak langsung (Comninellis dan Chen, 2010). Pada proses oksidasi langsung, polutan organik teroksidasi melalui transfer elektron ke anoda secara langsung, sementara pada oksidasi tidak langsung pendegradasian polutan organik dilakukan oleh beberapa senyawa elektro-aktif yang bertindak sebagai

mediator. Zat pengoksidasi kuat tertentu juga dapat dihasilkan selama EO tidak langsung dari reaksi anoda atau katoda maupun dari keduanya tergantung pada sifat bahan elektroda yang digunakan.

#### **A. Oksidasi Langsung**

Degradasi zat organik pada oksidasi langsung terjadi dalam dua tahap proses yaitu difusi polutan organik dari elektrolit ke permukaan anoda lalu mengalami absorpsi dan proses oksidasi polutan organik pada permukaan anoda melalui transfer elektron (Pers.1). dimana R= polutan organik target; RO= polutan teroksidasi.



Oksidasi langsung polutan organik terjadi saat sistem elektrokimia dioperasikan pada potensial sangat rendah sebelum reaksi evolusi oksigen terjadi. Laju oksidasi langsung bergantung pada aktivitas elektrokimia dari masing-masing jenis anoda (Mandal *et al.*, 2017). Efisiensi proses EO dipengaruhi oleh transfer massa substrat dengan transfer elektron pada permukaan elektroda. Tingkat transfer elektron dipengaruhi oleh aktivitas elektroda dan massa jenis (Urriaga *et al.*, 2009.). Kelemahan mekanisme ini ialah terbentuknya lapisan polimer pada permukaan anoda. Ketebalan lapisan polimer ini tergantung sifat adsorpsi bahan anoda, konsentrasi dan sifat polutan organik target (R).

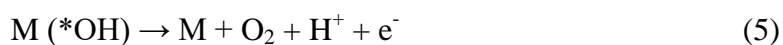
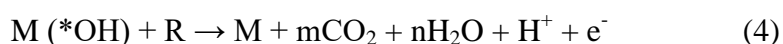
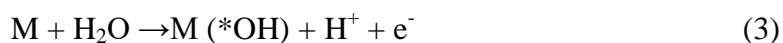
#### **B. Oksidasi Tidak Langsung**

Oksidasi tidak langsung terjadi melalui mediator berupa hidroksil radikal dan klor aktif (gas klorin serta asam hipoklorit) yang terbentuk melalui *bulk solution* (Mandal *et al.*, 2017; Comninellis dan Chen, 2010; Sillanpää dan Shestakova, 2017a).

Oksidasi organik dengan hidroksil radikal (\*OH) terjadi pada dua anoda yaitu anoda tidak aktif dan anoda aktif. Contoh anoda non aktif berupa PbO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> dan Boron Doped Diamond (Fernandes *et al.*, 2014). Sedangkan anoda aktif seperti DSA yang terdiri dari Pt, IrO<sub>2</sub>, dan RuO<sub>2</sub>. Perbedaan mekanisme oksidasi antara anoda tidak aktif dan anoda aktif

terdapat pada proses oksidasi elektrokimia dan konversi reaksi kimia dalam menguraikan polutan organik.

Anoda (M) akan terserap secara fisis menjadi hidroksil radikal pada kuat arus yang tinggi (Pers.3) (Panizza dan Cerisola,2009; Comninellis dan Chen, 2010; Brillas *et al.*,2016). Anoda non aktif mampu bekerja sempurna mengoksidasi organik menjadi karbondioksida (Pers.4). Anoda Platina relatif memiliki kuantitas \*OH yang rendah untuk mengoksidasi polutan organik (Pers.5). BDD dan platina merupakan logam inert (tidak luruh dalam proses). Keunggulan anoda inert dalam elektrokimia diantaranya berbiaya rendah, dapat menghasilkan oksigen, dan ramah lingkungan (Panizza dan Cerisola, 2009; Fernandes *et al.*, 2015; Mandal *et al.*, 2017; Tang *et al.*, 2018).



Selain itu, pada anoda juga terjadi oksidasi polutan ammonium-nitrogen oleh klorin aktif (Pers.6). Oksidasi dengan klorin aktif ini akan membentuk asam hipoklorit (Pers. 7) (Sillanpää dan Shestakova, 2017).



Asam hipoklorit (HClO) sebagian terdisosiasi menjadi ion hipoklorit (ClO<sup>-</sup>) dan ion hidrogen (Pers. 8). Pada kondisi netral, ion hidroksida yang dihasilkan pada katoda bereaksi dengan asam hipoklorit menghasilkan ion hipoklorit (Pers.9).

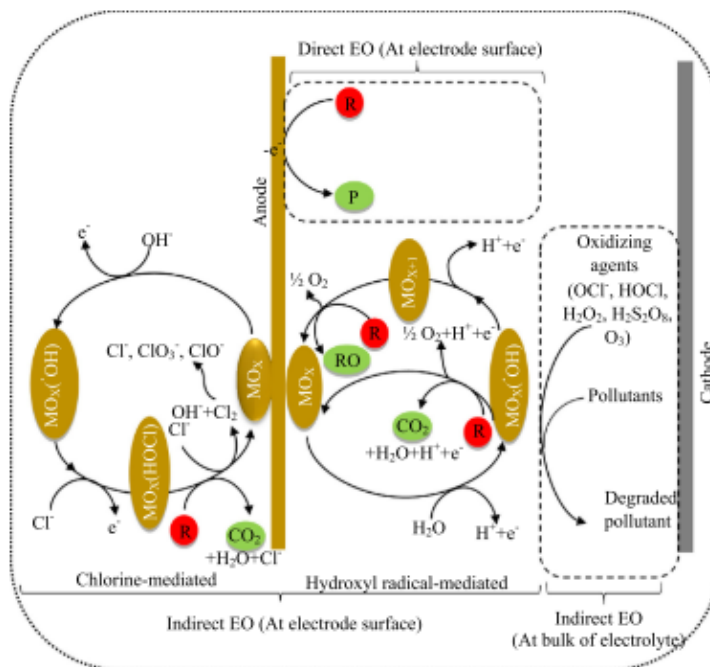




Reaksi pada katoda:



Pada kondisi netral, asam hipoklorit akan bergeser ke kanan (Pers. 7). Artinya, transfer massa radikal hidroksil dari katoda diubah menjadi asam hipoklorit dapat menghentikan pelepasan gas klor di anoda. Proses pembentukan ion hipoklorit dapat dihentikan pada satu sisi. Contoh ion hipoklorit dapat teroksidasi di anoda dan pada katoda berubah menjadi klorida (Pers. 10). Rangkaian reaksi oksidasi dapat di pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Skema Reaksi Oksidasi Langsung dan Tidak Langsung

Sumber: Mandal *et al* (2017)

### 2.3.3 Mekanisme Degradasi Nitrogen

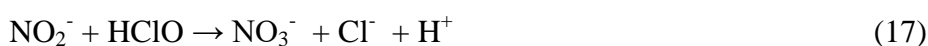
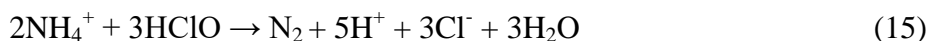
Susunan kimia nitrogen menjadi kompleks karena beberapa keadaan oksidasi dapat berubah akibat mikroorganisme. Metcalf dan Eddy (2014) menyebutkan total nitrogen tersusun dari organik nitrogen, ammonia, nitrit, dan nitrat. Dimana fraksi organik terdiri dari komponen kompleks dari asam

amino, gula, dan protein (polimer asam amino). (Sillanpää dan Shestakova, 2017a) menyebutkan anorganik nitrogen di air terbentuk dari proses amonifikasi senyawa organik nitrogen yang terkandung dalam mikro organisme (Pers.13).

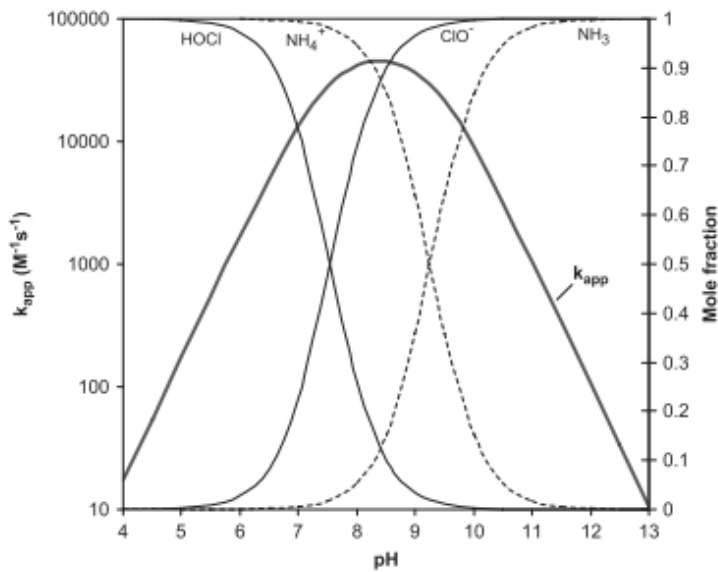
Tujuan dari reduksi elektrokimia inorganik nitrogen adalah untuk denitrifikasi N-spesies dengan formasi yang tidak toksik pada gas nitrogen (Pers.14). Hal ini secara alami terjadi pada sistem annammox (metabolisme yang mengubah ammonium, nitrat, dan nitrit menjadi gas nitrogen).



Persamaan reaksi degradasi ammonium (Pers.15). Pada proses *breakpoint* klorinasi ini akan terjadi pembentukan nitrat (Pers.17). Dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa reaktivitas klor menurun ketika jumlah atom klor pada nitrogen meningkat.



Oksidasi nitrogen akan terjadi pada proses oksidasi tidak langsung melalui asam hipoklorida. Mekanisme ini berkerja sesuai reaksi *breakpoint* klorinasi (Zhao *et al.*, 2010; Anglada *et al.*, 2011; Kreysa, 2014). Reaksi ini akan bekerja optimum pada rentang pH 6-7,5 (Díaz *et al.*, 2011). Klorin akan berubah bentuk berdasarkan reaktivitas pH (Deborde dan Gunten, 2008; Kreysa. 2014). Perubahan klor dan ammonia terhadap pengaruh pH pada suhu 25°C dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Distribusi Perubahan klor dan Ammonia berdasarkan pH

Sumber: Deborde dan Gunten (2008)

Díaz *et al* (2011) menyebutkan anoda BDD dengan kuat arus  $10 A/m^2$  bekerja optimum lebih dari 90% dari konsentrasi 80 mg/L nitrit dapat terdegradasi. Rosca *et al* (2009) menyimpulkan ammonia adalah senyawa produk yang paling signifikan pada reduksi nitrat.

### 2.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Elektrokimia

Proses elektrokimia terdiri dari beberapa bagian pendukung yang sangat berisiko di lapangan seperti kestabilan listrik dan sistem. Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses elektrokimia diantaranya sebagai berikut.

#### a) Material elektroda

Anoda Boron-Doped Diamond (BDD) memiliki kelebihan antara lain konduktivitas tinggi, ketahanan korosi yang tinggi, memiliki stabilitas kimia yang baik, kelembapan dan sifat adsorpsi rendah dari permukaan anoda yang meminimalisir pembentukan lapisan polimer, over potensial evolusi oksigen tinggi serta potensi kerja yang luas, yakni  $>3 V$  (Comninellis dan Chen, 2010).

Logam Platina (Pt) telah umum digunakan pada pengolahan air limbah secara elektrokimia karena konduktivitas yang tinggi, memiliki stabilitas kimia yang baik, dan jangka waktu umur panjang. Berikut tabel perbandingan potensi evolusi oksigen pada anoda yang umum digunakan untuk pengolahan pada lindi terhadap Standard Hydrogen Electrode (SHE). Evolusi oksigen adalah proses oksidasi air menjadi oksigen selama proses elektrokimia yang terjadi pada kondisi 1,2 Volt vs Normal Hydrogen Elektrode (NHE).

Tabel 2. 5 Perbandingan Potensi dan SHE pada Anoda

Anoda	Potensi vs SHE	Kondisi
RuO <sub>2</sub>	1,47	0,5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
IrO <sub>2</sub>	1,52	0,5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Pt	1,6	0,5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
BDD	2,3	0,5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
SnO <sub>2</sub>	1,9	0,5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

Sumber: Mandal *et al* (2017)

#### b) Kerapatan arus

Kerapatan arus ialah perbandingan antara kuat arus terhadap luas elektroda. Efisiensi penyisihan COD akan meningkat seiring dengan meningkatnya kerapatan arus (Quan *et al.*, 2013). Kerapatan arus yang lebih rendah lebih dominan dalam mengoksidasi COD dibandingkan pembentukan klorin pada proses oksidasi tidak langsung di permukaan anoda. Sedangkan penggunaan arus yang tinggi akan meningkatkan pembentukan klorin yang dapat menghambat proses degradasi senyawa organik (Comninellis dan Chen, 2010). Govindan *et al* (2017) melaporkan penggunaan *membrane divided cell* menghasilkan efisiensi oksidasi CO<sub>2</sub> yang stabil pada perbedaan kerapatan arus platina sebesar 30 mA/cm<sup>2</sup>. BDD dapat bekerja optimum dalam mendegradasi lindi dengan kerapatan 25 mA/cm<sup>2</sup> (Fudala-Ksiazek *et al.*, 2018).

### c) Nilai pH

Nilai pH (power of Hydrogen) memiliki peranan pada keberadaan senyawa aktif dalam lindi selama proses EO berlangsung (Mandal *et al.*, 2017). Keberadaan senyawa aktif tersebut sangat erat kaitannya dengan degradasi senyawa organik (terukur sebagai COD) dan ammonium. Kondisi pH asam memiliki kemampuan dalam meningkatkan laju penyisihan COD melalui reduksi ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), dimana ion tersebut merupakan ion yang dapat merusak radikal hidroksida ( $\cdot\text{OH}$ ). Pembentukan oksigen (*oxygen evolution*) merupakan reaksi samping selama proses EO juga sangat tergantung pada pH basa, kuat arus lebih banyak digunakan untuk proses pembentukan oksigen dibandingkan dengan proses oksidasi senyawa organik. Hal ini dikarenakan pada pH basa memiliki energi yang dibutuhkan untuk pembentukan oksigen (potensial  $\text{O}_2$ ) lebih kecil dari pada saat pH asam (1,229 V pada suasana asam dan 0,42 V pada suasana basa). Dalam penggabungan integrasi pengolahan, pH pada limbah harus difungsikan sesuai jenis bakteri agar dapat mencapai kemudahan proses Biodegradasi oleh kondisi bakteri.

### d) Debit

Peningkatan debit aliran pada proses oksidasi elektrokimia sebanding dengan peningkatan transfer massa dan dapat mengurangi difusi ke permukaan anoda. Proses pembentukan agen pengoksidasi seperti hidroksil radikal kurang optimal apabila difusi air ke permukaan anoda berkurang. Tingginya debit aliran juga dapat meningkatkan laju perpindahan klorida dari *bulk solution* ke permukaan anoda sehingga menghasilkan perubahan klorin yang lebih besar. Namun, penggunaan debit yang terlalu rendah dihindari karena semakin lama waktu tinggal elektrolit di dalam reaktor akan meningkatkan temperatur bahkan dapat memanaskan larutan. Pada debit 1,3-2,6 mL/s dapat meningkatkan penyisihan COD sebesar 70% (Mandal *et al.*, 2017).

### e) Konfigurasi reaktor

Konfigurasi reaktor menggunakan divided cell minimal terdiri dari 2 kompartemen anoda dan katoda. Dimana substrat yang akan dioksidasi pada

kompartemen anoda sedangkan substrat yang akan direduksi terletak pada kompartemen katoda (Sajjad *et al.*, 2019). Sidik (2019) menggunakan 3 kompartemen pada sistem elektrokoagulasi, kompartemen ini terdiri dari kompartemen anoda, katoda, dan konsentrat. Kompartemen konsentrat berfungsi untuk menyeimbangkan ion (TDS) pada elektro dialisis sehingga dapat menghemat energi listrik.

### 2.3.5 Perhitungan Kebutuhan Energi

#### A. *Limiting Current*

Kepadatan arus maksimum untuk mencapai reaksi elektroda yang diinginkan sebelum hydrogen atau ion asing lainnya dilepaskan secara bersamaan. Nilai ini berhubungan dengan rata-rata konstan transfer massa dan konsentrasi polutan organik (Panizza dan Martinez-Huitle, 2013).

$$I_{lim}(t) = 4 \text{ AF.Km.COD.}(t) \quad (2.1)$$

Dimana:

$I_{lim}(t)$  = batas arus pada waktu tertentu

$N$  = nomer perpindahan elektron (4)

$A$  = luas permukaan elektroda ( $\text{m}^2$ )

$F$  = konstanta faraday ( $96.500 \text{ C.mol}^{-1}$ )

$Km$  = koef. transfer massa ( $3 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ )

Jika *limiting current* 600 mA, maka kemungkinan reaksi transfer massa terjadi 100% pada arus 600 mA. Urtiaga *et al* (2009) melakukan penelitian menggunakan BDD selama 4 jam dengan luas permukaan elektroda  $142,85 \text{ m}^2$  didapatkan nilai *limiting current* sebesar 5 A. Dalam penelitiannya digunakan variasi arus sebesar 6,3-8,4 A. Pengambilan variasi ini dilakukan untuk mengantisipasi ammonia dan COD agar dapat dihilangkan secara bersamaan. Namun, kondisi ini memberikan efek samping pembentukan nitrat dan senyawa organik terklorinasi yang bersifat reaktif (Cabeza *et al.*, 2007). Kjeldsen *et al* (2002) menyebutkan *range* terbentuknya ion klorin pada lindi usia *mature* sebesar 150-4.500 mg/L.



## B. Konsumsi Energi Spesifik

Dalam aplikasi elektrokimia kelayakan proses dapat dilihat dari segi efisiensi penurunan polutan sedangkan pada segi ekonomi kelayakan ditentukan oleh konsumsi energi spesifik. Penurunan konsentrasi polutan selama proses elektrokimia dapat dinyatakan dengan fungsi dari muatan listrik spesifik

$$\text{SEC (kWh/m}^3) = \frac{U x i x t}{10^3 x V} \quad (3.2)$$

$$\text{SEC (kWh/kg COD)} = \frac{U x i x t}{10^3 x V x (COD_0 - COD_t)} \quad (3.3)$$

Dimana:

U = voltase yang digunakan

i = kuat arus (A)

t = waktu pengolahan

V = volume pengolahan (L)

COD<sub>0</sub> = COD influen

COD<sub>t</sub> = COD efluen

Zhao *et al* (2010) meneliti perbedaan konsumsi energi pada 4 variasi pengolahan yakni, *single* pengolahan elektro oksidasi, integrasi pengolahan elektro oksidasi dan biologis, sinergis pengolahan biologis, dan elektro oksidasi (SBEO), serta SBEO-biologis. Masing-masing pengolahan dilakukan selama 4 jam menggunakan anoda BDD *single compartment*, kuat arus 60 mA, jarak antar anoda-katoda 2 cm, dan penambahan 0,05 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai elektrolit pendukung. Hasilnya, persentase removal Total Organic Compound (TOC) tertinggi direduksi oleh SBEO sebesar 99,5% dengan energi 31,1 E/kWh.m<sup>-3</sup> dan konsumsi energi terendah didapatkan oleh pengolahan lindi secara SBEO-biologis sebesar 23,2 E/kWh.m<sup>-3</sup> dengan persentase removal TOC 98,3%.

Zolfaghari *et al* (2016) dalam penelitiannya pengolahan lindi dengan anoda Niobium coated with BDD (Nb/BDD) arus 3 A, waktu detensi selama 2 jam, dan jarak antar elektroda sebesar 2 cm membutuhkan energi sebesar

16–22 kWh/m<sup>3</sup>. Quan *et al* (2013) melakukan pengolahan elektro oksidasi dengan anoda Titanium dengan campuran layer RuO<sub>2</sub> dan IrO<sub>2</sub> (Ti/RuO<sub>2</sub>-IrO<sub>2</sub>) menggunakan penambahan ion klorida sebagai *dopping* elektrolit. Variasi penelitiannya terdapat pada pengaruh gap elektroda terhadap struktur kompartemen. Dari penelitiannya didapatkan operasi optimum pada arus 65 mA/cm<sup>2</sup>, gap elektroda 20 mm, selama 2 jam, penambahan ion sebesar 5.000 mg/L dapat mencapai standar baku mutu lindi COD di China dalam konsumsi energi sekitar 100-375 kWh/kg COD.

### 2.3.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu sebagai acuan dan dasar penelitian di laboratorium. Sistem elektro oksidasi menggunakan anoda BDD dan DSA platina. Ringkasan penelitian dijelaskan pada Tabel 2.6

Tabel 2. 6 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Metode	Hasil Penelitian	Sumber
1	Anoda BDD	Kepadatan arus 20-60 mA/cm <sup>2</sup> , COD awal 1550 mg/L mampu menurunkan polutan sebesar 73-100% dengan waktu detensi 5 jam.	Zolfaghari <i>et al</i> (2016)
		Kepadatan arus 40 mA/cm <sup>2</sup> selama 2,5 jam mampu menghasilkan efisiensi COD dan ammonia 95% dan 100% dengan konsentrasi awal 780 mg/L dan 266 mg/L.	Panizza dan Martinez-Huitle (2013)
2	Anoda Pt	Kepadatan arus 49 mA/cm <sup>2</sup> dengan COD awal 2950 mg/L mampu menurunkan polutan hingga 94% . Dengan waktu detensi 45 menit dan pH 3.	Mohajeri <i>et al</i> (2009)
		Kepadatan arus 22 mA/cm <sup>2</sup> dengan COD 540 mg/L dan ammonia 95 mg/L	Ramprasad dan Gopalakrishnan

No	Metode	Hasil Penelitian	Sumber
		menghasilkan efisiensi removal sebesar 61% dan 100%. Dalam waktu detensi 40 menit.	(2012)



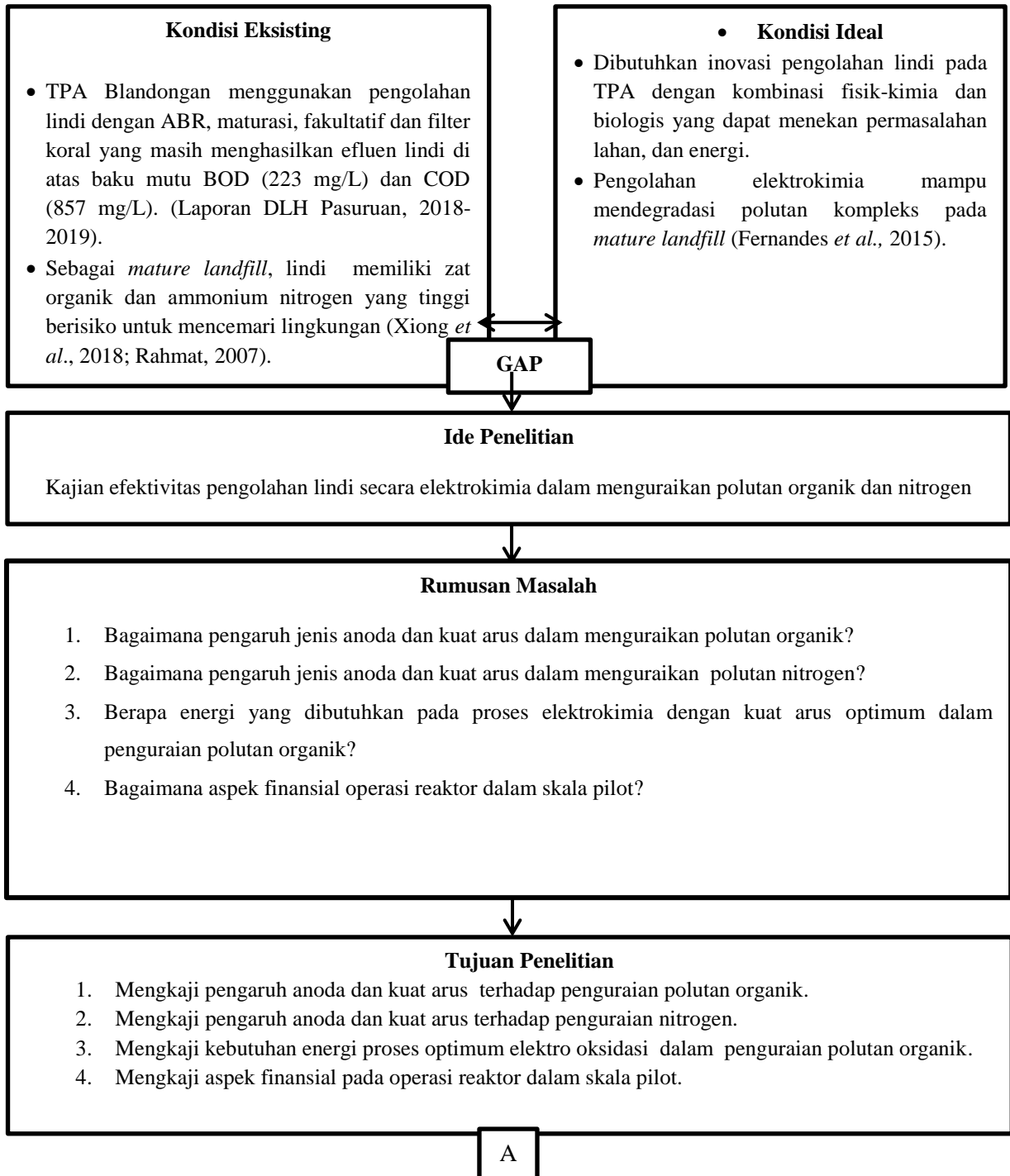
## BAB III

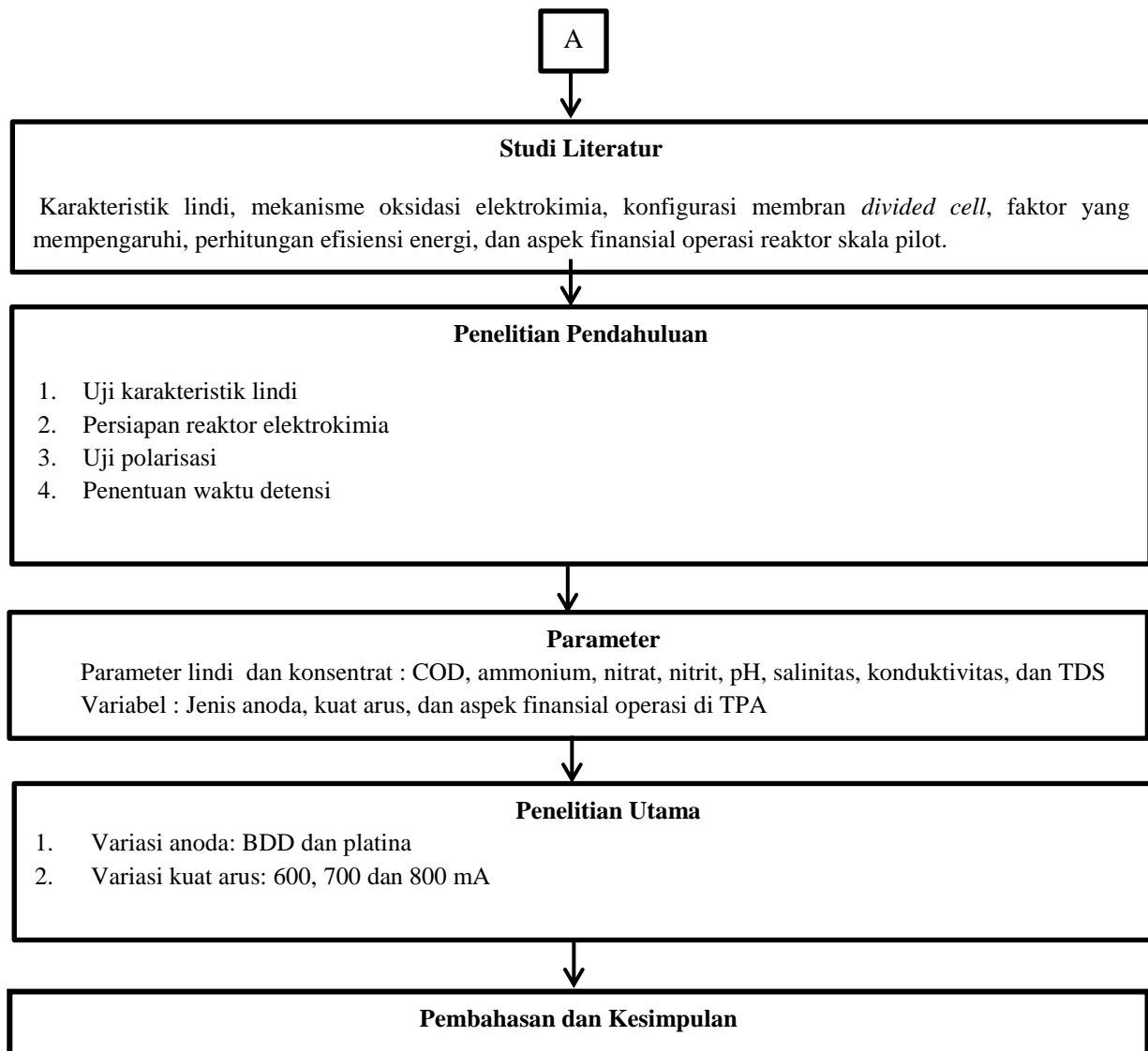
# METODE PENELITIAN

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Penelitian

Penelitian skala laboratorium dilakukan untuk menurunkan kandungan organik dan nitrogen. pada penelitian ini akan dilakukan 2 tahapan penelitian, yakni penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Tahapan penelitian dijelaskan pada diagram kerangka penelitian berikut.





Gambar 3. 1 Diagram Kerangka Studi

### 3.2 Studi Literatur

Guna mendapat informasi ilmiah terkait penelitian, landasan teori dibutuhkan untuk memberi wawasan dan menjadi landasan teori yang pernah terbukti dalam kajian penelitian yang telah ada. Studi literatur didapatkan dari artikel, jurnal penelitian, *text book*, laporan tesis, tugas akhir serta diskusi dari dosen pembimbing serta laboran. Literatur dalam penelitian ini antara lain membahas tentang:

1. Karakteristik lindi
2. Mekanisme pengolahan lindi secara elektrokimia

3. Konfigurasi membran *divided cell*
4. Faktor yang mempengaruhi kinerja elektrokimia
5. Perhitungan efisiensi energi dan aspek finansial

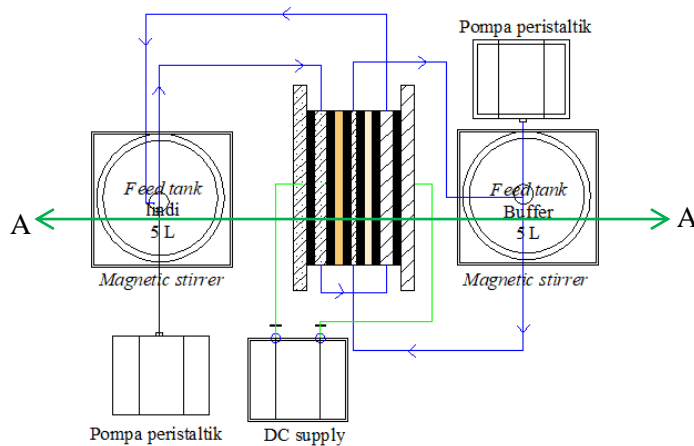
### 3.3.1 Penelitian Pendahuluan

#### 3.3.1.1 Uji Karakteristik Lindi

Karakteristik lindi yang diuji antara lain: COD, ammonium, nitrat, nitrit, pH, konduktivitas, TDS, dan salinitas. Karakteristik lindi digunakan untuk mengetahui kandungan polutan organik dan anorganik pada lindi sebagai informasi awal jenis lindi.

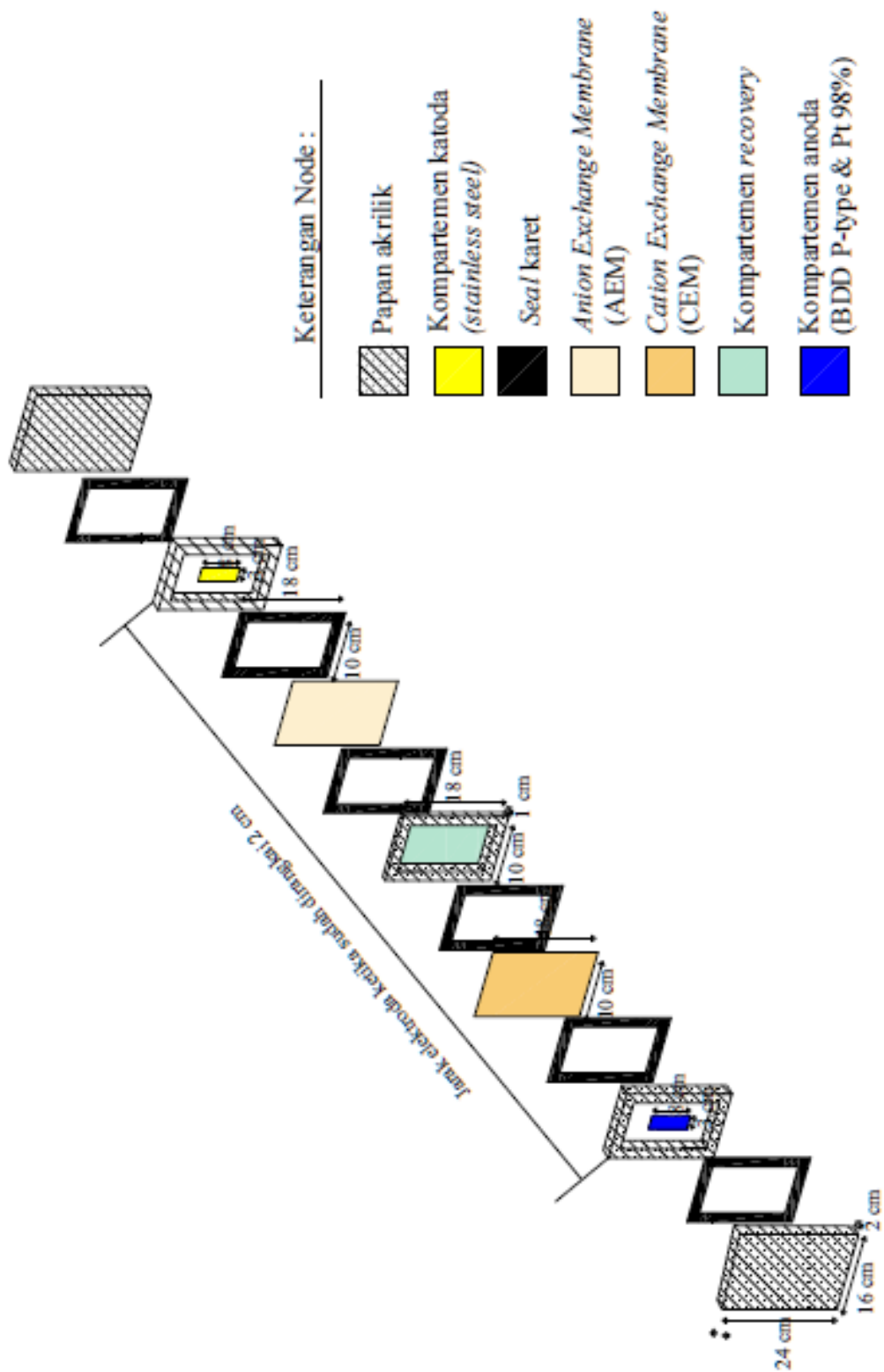
#### 3.3.1.2 Penyusunan Reaktor

Rangkaian reaktor terdiri dari *feed tank* (botol duran Schott 5 L), *magnetic stirrer*, *DC supply*, pompa peristaltik, dan reaktor elektrokimia. Reaktor elektrokimia dibentuk dengan beberapa penyusun/layer berbahan akrilik. Rangkaian reaktor dan layer reaktor elektrokimia dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Rangkaian Reaktor Elektrokimia Tampak Atas





Gambar 3. 3 Potongan A-A Reaktor Elektrokimia

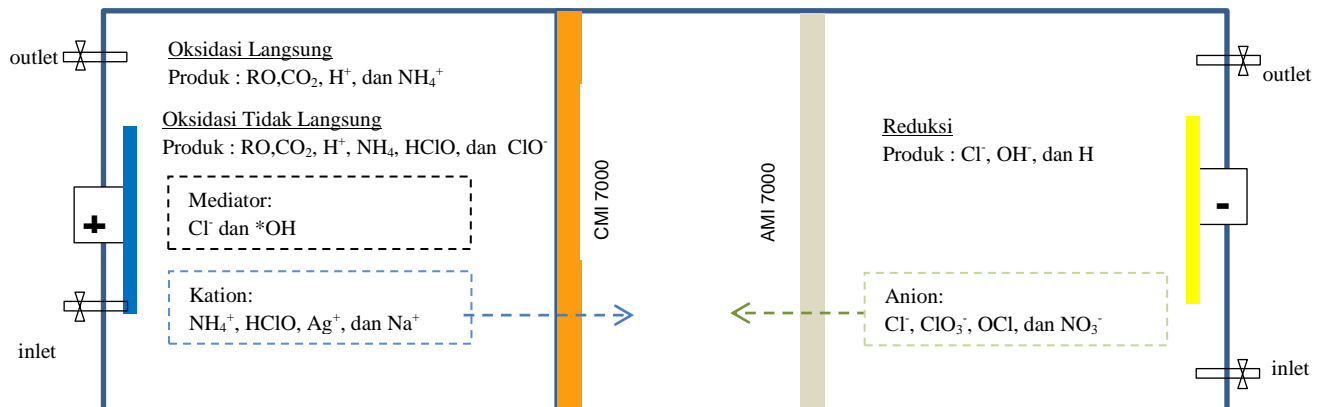
Dari Gambar 3.3 dapat dijelaskan bahwa lindi dialirkan dari *feed tank* ke reaktor dengan bantuan pompa peristaltik. Lindi masuk ke dalam reaktor dengan *up-flow* agar sistem menjadi laminar dan teraduk sempurna. Setelah masing-masing kompartemen penuh lindi akan keluar melalui *outlet* di bagian atas dan dialirkan kembali ke *feed tank*. Penjelasan rangkaian reaktor elektrokimia yang digunakan sebagai berikut:

1. *Feed tank* lindi digunakan untuk menampung air lindi yang diolah pada reaktor elektrokimia. Botol duran ini memiliki kapasitas 5 L. lindi berjalan menuju reaktor dengan bantuan pompa peristaltik (debit 0,28 mL/menit).
2. Pompa peristaltik untuk mengalirkan lindi menuju *inlet* reaktor. Penggunaan pompa ini juga membantu dalam pengendalian laju debit sesuai kebutuhan.
3. *Direct Current (DC) supply* berfungsi menyuplai arus listrik yang diperlukan. DC suplai yang digunakan memiliki spesifikasi arus antara 0-900 mA dan tegangan sekitar 0-30 V. Selama masa operasi *running*, arus dibuat konstan sehingga yang berubah hanya faktor tegangan (voltase). Hal ini ditunjukkan dengan lampu *Constant Current (CC)* yang menyala.
4. *Feed tank* konsentrat berfungsi untuk menampung larutan konsentrat yang terbuat dari dinatrium hidrogen fosfat dan Natrium dihidrogen fosfat dengan konsentrasi 5%. Konsentrat ini berfungsi untuk menyerap anion dan kation yang dapat menghemat penggunaan listrik.
5. Reaktor elektrokimia berfungsi sebagai titik inti proses elektro oksidasi berlangsung. Pada reaktor ini terbagi menjadi 3 kompartemen, yakni kompartemen anoda, katoda dan konsentrat. Dimensi reaktor yang digunakan terbagi menjadi dua, yaitu kompartemen anoda dan katoda dimensi dalam 18 cm x 10 cm x 2 cm. Kompartemen konsentrat dengan dimensi 18 cm x 10 cm x

- 1 cm. Kompartemen konsentrat didesain lebih tipis sebagai perantara arus listrik yang berasal dari anoda ke katoda.
6. *Magnetic stirrer* digunakan untuk mengaduk sampel lindi maupun larutan konsentrat agar homogen selama proses berlangsung.
  7. Elektroda yang dikaji pada studi kasus ini diutamakan pada anoda platina, BDD P-type, dan katoda *stainless steel*. Jarak antar elektroda sebesar 2 cm. Ukuran anoda dan katoda yang digunakan pada penelitian ini masing-masing 8 cm x 3 cm.
  8. Membran yang digunakan adalah CEM 7000 dan AEM (jenis AMI 7001). Membran berfungsi sebagai permeabilitas. Partikel yang akan melewati/tembus antara lain ion  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ . Ion ini akan berkumpul di kompartemen konsentrat. Proses elektro dialisis menjadi efisien karena energi yang diberikan secara langsung dapat menurunkan polutan lindi. (Sidik, 2019; Shofiana, 2019) menyebutkan bahwa penggunaan membran CEM & AEM untuk air lindi dapat digunakan 3x selama 12 jam waktu operasi.
  9. Kabel digunakan untuk mengalirkan listrik dari DC *supply* menuju elektroda.
  10. Selang berfungsi untuk mengalirkan lindi dari *feed tank* menuju reaktor elektrokimia.

### **3.3.1.3 Skema Elektro dialisis**

Mekanisme pemisahan ion menggunakan membrane AEM dan CEM digunakan untuk memperbaiki kekuatan mekanik dan fleksibilitas. Ion akan berpindah dari larutan lindi ke konsentrat atau sebaliknya karena adanya perbedaan tegangan listrik. Ion positif (kation) akan bergerak ke katoda (elektroda yang bermuatan negatif), sedangkan ion negatif (anion) akan bergerak menuju anoda (elektroda bermuatan positif). Adapun sistem elektro dialisis yang akan terjadi pada reaktor pengolahan lindi dijelaskan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Skema Proses Reaktor Elektrokimia

Reaktor terdiri dari 3 kompartemen, masing-masing fungsi dan mekanismenya dijelaskan sebagai berikut:

1. Kompartemen anoda:

Berfungsi sebagai inlet lindi, pada kompartemen ini akan terjadi reaksi oksidasi baik secara langsung dan tidak langsung. Oksidasi langsung terjadi dengan cara absorpsi melalui transfer elektron (Pers. 1). Kecepatan transfer elektron yang terjadi dipengaruhi oleh jarak dan ion yang terkandung pada lindi, konsentrasi polutan yang tinggi, dan keberadaan substansi aromatik (seperti  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan  $\text{*OH}$ ).

Oksidasi tidak langsung terjadi melalui mediator berupa hidroksil radikal maupun oksidan klor. Pada anoda BDD (sebagai anoda non-aktif), polutan pada lindi akan teroksidasi secara sempurna menjadi karbon dioksida melalui OH radikal (Pers.2). Reaksi samping yang terjadi pada proses tersebut berupa reaksi evolusi oksigen (Proses oksidasi air menjadi oksigen). Reaksi evolusi oksigen BDD terjadi pada potensi 2,3 V (Tabel 3.5). Jenis BDD yang digunakan pada persiapan studi adalah BDD P-type dengan ketebalan film 2 mikron. Pada anoda Pt (sebagai anoda aktif), lindi teroksidasi secara tidak langsung. Dimana secara proses akan bereaksi menjadi radikal hidroksil untuk mengoksidasi polutan organik target. Selain itu, ion

klorin (Cl<sup>-</sup>) akan terbentuk menjadi asam hipoklorit yang selanjutnya akan mengoksidasi ammonium.

2. Kompartemen katoda:

Berfungsi untuk mereduksi senyawa organik dan anorganik lindi dari oksidasi pada kompartemen anoda. Contoh reaksi yang terdapat pada katoda Stainless Steel (Pers. 11–12). Karena sistem bekerja secara batch, lindi pada kompartemen katoda yang dialirkan *ke feed tank* disebut sebagai produk elektrokimia.

3. Kompartemen konsentrat

Proses elektro dialisis pada reaktor elektrokimia, menggunakan kompartemen konsentrat yang berisi resin anion dan kation sebagai elektrolit untuk menghemat energi dan menjaga kesetimbangan massa transfer ion. Membran AEM untuk melewatkan anion (bermuatan negatif) dan CEM berfungsi melewatkan kation (bermuatan positif) dibawah pengaruh arus listrik dari anoda dan katoda. Hasil keseluruhan proses ini adalah peningkatan konsentrasi ion pada larutan konsentrat dengan penipisan ion di lindi. Larutan konsentrat dibuat dari dinatrium hidrogen fosfat (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) dan natrium dihidrogen fosfat (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) dengan pH 7.

#### **3.3.1.4 Uji Polarisasi**

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kuat arus yang dapat divariasikan untuk penentuan range kuat arus. Volume lindi yang digunakan sebesar 5 L. Polarisasi dilakukan dengan cara:

- a. Menaikkan voltase 0,3 V per 3 menit pada masing-masing anoda hingga arus optimum.
- b. Dilakukan pencatatan pada kuat arus, voltase, konduktivitas, TDS terhadap elektrolit yang menghasilkan gelembung udara (gas hidrogen).

#### **3.3.1.5 Penentuan Waktu Detensi**

Waktu detensi yang akan digunakan dalam penelitian utama ditentukan dengan melihat penurunan parameter. Adapun parameter yang

dianalisa yakni voltase selama 28 jam, pH, TDS, konduktivitas, dan COD serta ammonium pada lindi dan konsentrat (tanpa COD). Voltase digunakan untuk melakukan pengawasan pada energi. Parameter pH untuk pengawasan terhadap kondisi lindi. Parameter TDS dan konduktivitas diuji sebagai pengawasan terhadap kesetimbangan elektrolit pada lindi dan konsentrat. Parameter COD sebagai pengawasan terhadap polutan organik di lindi. Parameter ammonium, nitrit, dan nitrat sebagai polutan nitrogen yang akan dikaji pada efluen lindi. Selama 28 jam pengambilan sampel dilakukan pada jam ke 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 26, dan 28.

### 3.4 Penentuan Variabel

Penelitian ini menggunakan variabel sebagai berikut:

#### 1. Penentuan variasi anoda BDD dan platina

Zhou *et al.* (2016) menggunakan anoda BDD dengan ukuran  $24 \text{ cm}^2$  dalam waktu oksidasi 6 jam. Didapatkan variasi kerapatan arus terbaik yakni  $100 \text{ mA/cm}^2$  yakni 89,6% penurunan COD. Sofiana (2019) mendapatkan anoda BDD memiliki kerapatan arus optimum  $75 \text{ mA/cm}^2$  dalam menguraikan 85% COD (1,46 g COD) dengan kebutuhan energi yang rendah ( $36,9 \text{ gwh}^{-1}$ ).

Anoda platina dapat mengoksidasi ammonia hingga 55% (0,463 g) dengan konsumsi energi sebesar  $0,28 \text{ gwh}^{-1}$  dan TDS (Total Dissolved Solid) sebesar 41,35 mg/L dalam kuat arus 700 mA (Sidik, 2019).

#### 2. Penentuan variasi kuat arus 600, 700 dan 800 mA

Sidik (2019) mendapatkan arus optimum EO dengan kuat arus 700 mA mendegradasi COD sebanyak 5,01 g pada pH 6. Shofiana (2019) mendapatkan arus optimum BDD 350 mA dapat menyisihkan COD 85% ( $36,9 \text{ Wh/g}$ ). Untuk menentukan variasi kuat arus, akan dilakukan uji polarisasi dan perhitungan *limiting current* pada anoda terhadap lindi TPA Blandongan.

#### 3. Aspek finansial pada operasi reaktor skala pilot sesuai penurunan massa COD. Variabel ini disusun agar inovasi dapat dikaji secara ekonomi jangka panjang.

### 3.5 Parameter Analisa

Analisa pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air dan Laboratorium Remediasi Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan ITS. Analisa dilakukan dengan penyaringan efluen lindi dengan syringe filter 0,45  $\mu\text{m}$  Poly Tetra Fluor Ethylene (PTFE). Beberapa parameter uji dan metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Parameter Uji pada Penelitian

No	Jenis parameter	Fungsi uji	Metode	Sumber
1	BOD <sub>5</sub>	Mengetahui kadar biodegrabilitas lindi	Winkler	SNI 6989 72 2009
2	COD	Mengetahui tingkat penurunan konsentrasi organik	Refluks tertutup	SNI 6989 72 2009
3	TKN	Mengetahui kadar N organik lindi	Nessler	SNI 06 6989 17 2009
4	Ammonium	Mengetahui kadar ammonium dalam lindi	Nessler	SNI 06 6989 30.2005
5	Nitrat	Mengetahui kadar total inorganic nitrogen untuk menentukan mass balance nitrogen.	Nessler	SNI 6989 79 2011
6	Nitrit	Mengetahui kadar total anorganik nitrogen untuk menentukan <i>mass balance</i> nitrogen.	Spektrofotometri	SNI 06 6989 9 2004
7	pH	Menganalisa kondisi fisik proses yang berlangsung untuk kesetimbangan sistem	Potensiometri PH on lab	SNI 06 6989 11 2004



No	Jenis parameter	Fungsi uji	Metode	Sumber
8	Salinitas	Mengetahui kadar ion pada lindi	Starter3100 C OHAUS	SNI 1303 13060
9	TDS	Mengetahui kadar solid yang terkandung pada lindi dan konsentrat		Konduktivitas

Pada parameter (1-4) dibutuhkan pembuatan reagen dan kurva kalibrasi sebelum dilakukan pembacaan sampel menggunakan spektrofotometer. Pembuatan kurva kalibrasi dijelaskan pada Lampiran I.

### 3.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan melakukan 6x *running* reaktor elektrokimia (diambil rata-ratanya). Hal ini dilakukan untuk pemenuhan volume pada pengolahan biologis (sebagai *post treatment* yang tidak dibahas selama kondisi pandemi). Dalam pelaksanaannya matriks sampel dan kebutuhan volume sampel yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3. Titik pengambilan sampel lindi terletak di *feed tank* (botol duran 5.000 mL). Begitu juga pada sampel konsentrat. Waktu operasional yang digunakan pada penelitian ini selama 12 jam. Volume efektif yang diperbolehkan untuk pengambilan sampel adalah sebesar 10% dari volume pengolahan. Volume lindi yang diperbolehkan sebesar 500 mL dalam sekali *running*, akan diambil 50 mL di awal dan 50 mL diakhir pengolahan.

Tabel 3. 2 Matriks Sampel yang Dianalisis

Anoda	BDD			Pt		
	600	700	800	600	700	800
Kuat arus (mA)						
<i>Running</i> ke						
1	1-B-600	1-B-700	1-B-800	1-P-600	1-P-700	1-P-800
2	2-B-600	2-B-700	2-B-800	2-P-600	2-P-700	2-P-800
3	3-B-600	3-B-700	3-B-800	3-P-600	3-P-700	3-P-800
4	4-B-600	4-B-700	4-B-800	4-P-600	4-P-700	4-P-800
5	5-B-600	5-B-700	5-B-800	5-P-600	5-P-700	5-P-800

<b>Anoda</b>	<b>BDD</b>			<b>Pt</b>		
<b>Kuat arus (mA)</b>	<b>600</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>600</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
<i>Running ke</i>						
6	6-B-600	6-B-700	6-B-800	6-P-600	6-P-700	6-P-800

Tabel 3. 3 Kebutuhan Sampel terhadap masing-masing Parameter

<b>No</b>	<b>Parameter</b>	<b>Volume sampel (mL)</b>	
		<b>Lindi</b>	<b>Konsentrat</b>
1	BOD	5	-
2	COD	5	-
3	TKN	10	10
4	Ammonium	10	10
5	Nitrat	5	5
6	Nitrit	5	5
7	pH	10	10
8	Salinitas		
9	TDS		
<b>Total</b>		<b>50</b>	<b>40</b>

### **3.7 Pembahasan dan Kesimpulan**

Pembahasan penelitian ini meliputi korelasi lapangan dan teori dari studi literatur yang didapatkan. Pembahasan disusun agar dapat menjawab rumusan masalah pada sesi kesimpulan penelitian.



**BAB IV**  
**PEMBAHASAN**

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan desain sistem (penelitian utama) agar dapat mencapai pengolahan optimum dalam menguraikan polutan organik dan nitrogen. Penelitian ini terdiri dari analisis karakteristik awal lindi, uji polarisasi, dan penentuan waktu detensi. Penentuan waktu detensi pengolahan elektrokimia dilakukan berdasarkan penurunan optimum polutan organik dan nitrogen.

#### 4.1.1 Karakteristik Awal Lindi

Pengambilan lindi sebanyak 300 L dilakukan pada tanggal 29 Desember 2019 (bulan basah) pada bak penampung TPA Blandongan Kota Pasuruan. Karakteristik lindi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Karakteristik Awal Lindi

Parameter	Satuan	Lindi awal
BOD	mg/L	8.466
COD	mg/L	16.400
Ammonium	mg/L	390,8
Nitrit	mg/L	133,2
Nitrat	mg/L	82,1
Salinitas	ppt	12,12
Konduktivitas	mS/cm	15,88
TDS	mg/L	10.163
pH	-	8,4

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa lindi TPA Blandongan mengandung zat organik yang tinggi yakni COD sebesar 16.400 mg/L dan BOD sebesar 8.466 mg/L. Oller *et al* (2011) menyebutkan lindi yang memiliki rasio BOD/COD 0,3-0,7 bersifat *biodegradable* akan efektif diolah secara bertahap menggunakan kombinasi pengolahan AOP dan biologis.

Nilai konduktivitas dan salinitas lindi yang tinggi yakni 15,88 mS/cm dan 12,12 ppt dapat digunakan sebagai elektrolit yang mampu menghantarkan listrik dengan tanpa tambahan hidrogen peroksida (Otur

*et al.*, 2015). Pérez *et al* (2011) menyebutkan nilai ammonium dapat dikonversi oleh spesies klorin aktif menjadi nitrit atau nitrat dan dapat berkontribusi dalam menguraikan polutan organik pada lindi. Nilai ammonium pada lindi Blandongan sebesar 380,9 mg/L akan membantu sistem nitrifikasi pada proses elektrokimia.

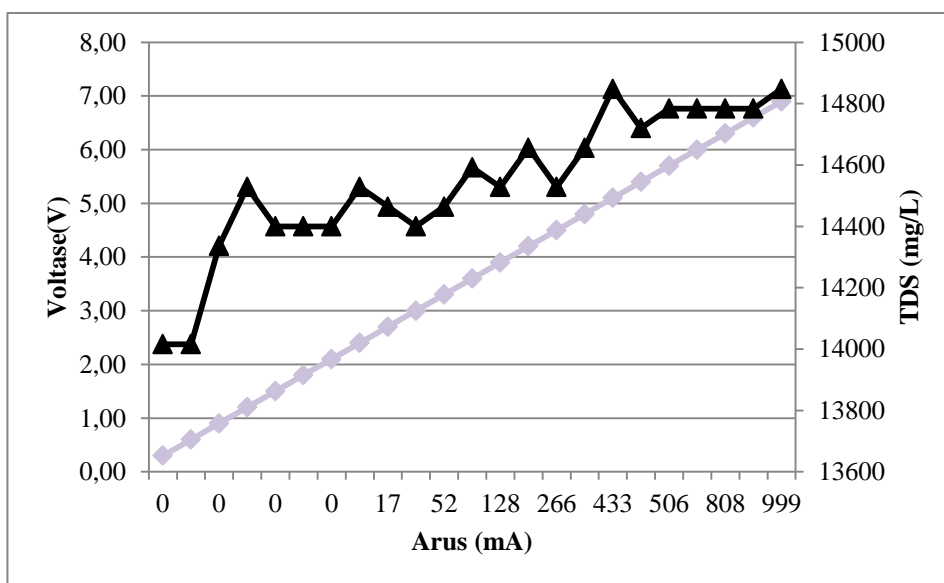
#### **4.1.2 Uji Polarisasi**

Polarisasi digunakan untuk mengutubkan anoda dan katoda serta menentukan variasi arus. Variasi anoda Platina (Pt) dengan kadar 98% dan Boron Doped Diamond (BDD) P-type dengan ketebalan masing-masing 1 mm dirakit sebagai anoda (+). Kutub (-) pada studi ini menggunakan katoda berbahan Stainless Steel (SS) tipe A-304. Uji polarisasi dilakukan dengan cara menaikkan voltase sebesar 0,3 V secara bertahap setiap 3 menit hingga arus optimum pada DC Suplai (999 mA).

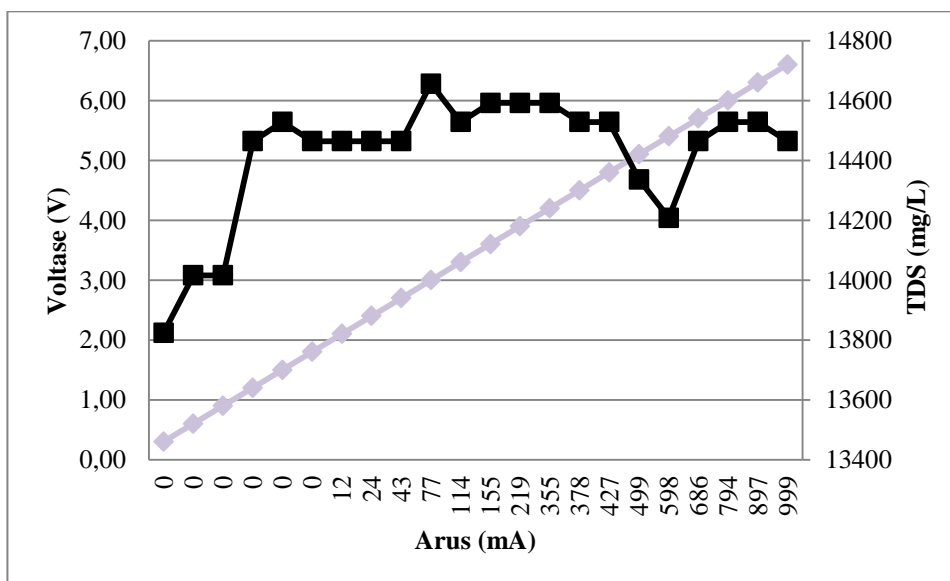
Volume lindi yang digunakan sebanyak 5 L. Reaktor disusun 2 kompartemen. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan arus optimum terhadap lindi. Selama proses polarisasi dilakukan pencatatan data voltase, konduktivitas, TDS, kuat arus, dan pH. Pengambilan sampel pada proses ini dilakukan dengan mengambil sebanyak 50 mL lindi (tidak dikembalikan ke *feed tank* lindi). Pada anoda BDD pengambilan sampel dilakukan sebanyak 29x untuk mencapai arus optimum DC Suplai sedangkan Pt sebanyak 22x. Total sampel yang diambil pada *feed tank* lindi anoda BDD 1.450 mL dan Pt 1.100 mL sehingga sisa lindi di *feed tank* masih berada di batas aman sesuai kaidah sampling (sisa volume efektif sebesar 10%).

Pada proses polarisasi, nilai TDS diukur di setiap kenaikan voltase DC suplai. Nilai TDS awal lindi sebesar 14.016 mg/L. Pada voltase 2,4 V arus mulai terbentuk 12 mA (kerapatan arus 0,5 mA/cm<sup>2</sup>) dengan kenaikan TDS 14.528 mg/L (kondisi pH 8,73 dan konduktivitas 22,7 mS/cm). TDS anoda BDD mengalami penurunan optimum 14.720 mg/L pada voltase 5,4 V arus 486 mA (kerapatan arus 20,25 mA/cm<sup>2</sup>) kondisi pH 8,72

konduktivitas 23 mS/cm). Pada anoda platina arus 12 mA (kerapatan arus 0,5 mA/cm<sup>2</sup> voltase 2,1 V pada TDS 14.464 mg/L (kondisi pH 8,66 dan konduktivitas 22,5 mS/cm). TDS anoda platina mengalami penurunan optimum 14.208 mg/L pada voltase 5,4 V arus 598 mA (kerapatan arus 24,92 mA/cm<sup>2</sup>) kondisi pH 8,63 konduktivitas 22,2 mS/cm. Grafik perubahan TDS terhadap voltase anoda dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Uji Polarisasi pada BDD



Gambar 4. 2 Hasil Pengukuran Uji Polarisasi pada Platina

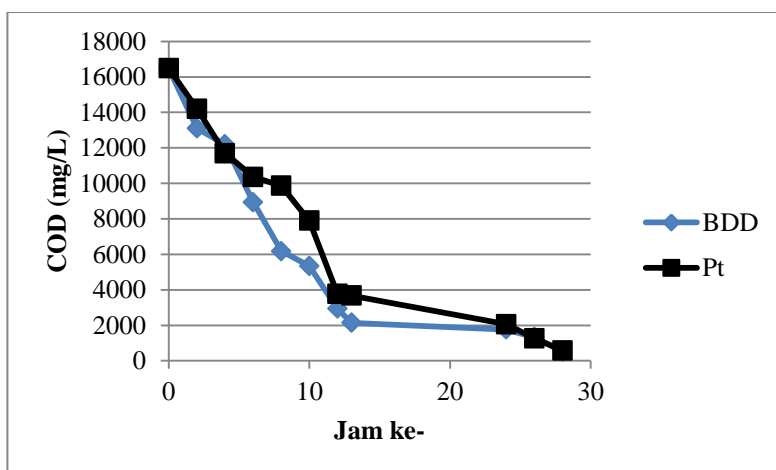
TDS pada lindi dapat berupa  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , dan  $\text{ClO}_3^-$  (Ramprasad dan Gopalakrishnan, 2012). Tren perubahan TDS disebabkan karena massa transfer spesies elektro aktif pada elektrolit ke permukaan elektroda seiring dengan penambahan arus dan proses kavitasi. Kavitasi pada elektrokimia dipengaruhi oleh frekuensi OH, gas terlarut, intensitas gelembung udara, temperatur, dan tekanan (Sillanpää dan Shestakova, 2017a). Penurunan OH pada polarisasi dapat menjaga permukaan elektroda bersih dari kontaminan dan meningkatkan perpindahan massa terhadap larutan (Lee *et al.*, 2016). Selain itu adanya pembentukan OH dapat meningkatkan efisiensi degradasi polutan (Shiva Kumar dan Himabindu, 2019). Pada akhir polarisasi gelembung udara terlihat di kompartemen anoda dan katoda.

#### **4.1.2 Penentuan Waktu Detensi**

Penentuan waktu operasi pada reaktor dilakukan selama 28 jam dengan kuat arus variasi terbesar yakni 800 mA. Reaktor dikondisikan pada galvanostatic (kuat arus konstan). Dalam menentukan waktu pengolahan reaktor disusun sesuai metode studi (Gambar 2.4 Layer Reaktor Elektrokimia) dengan jarak antar elektroda sebesar 2 cm.

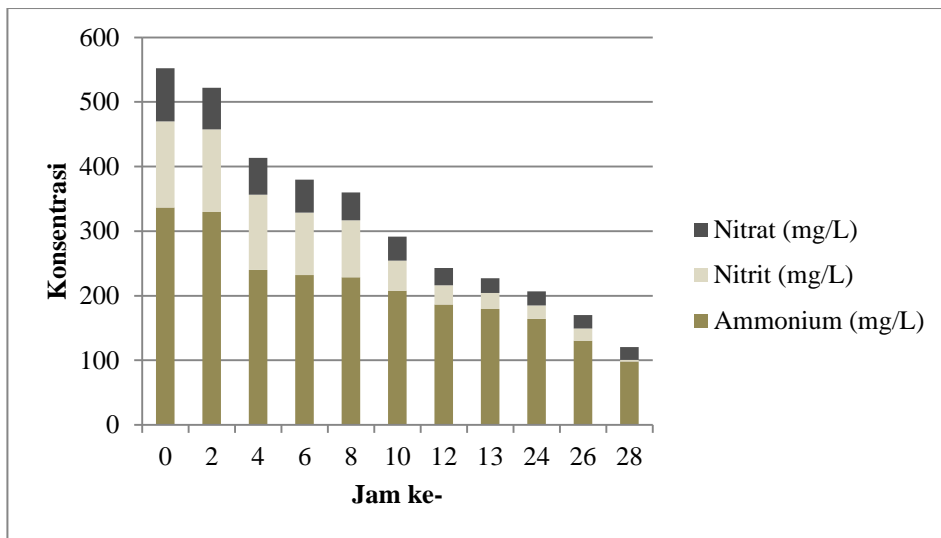
Penentuan waktu operasi dilakukan dengan menyalakan reaktor selama 28 jam untuk mengetahui degradasi polutan optimum pada jam ke berapa. Sampling lindi dan konsentrat yang diambil pada jam ke 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 24, 26, dan 28. Pemilihan waktu operasi dilakukan dengan melakukan pengamatan pada penurunan optimal parameter COD, ammonium, nitrat, nitrit, TDS dan pH lindi. Sampel lindi dan konsentrat diambil sebanyak 50 mL. Sampel disaring menggunakan syringe filter 0,25 mm PTFE (*Hydrophilic*) dengan ukuran pori 0,45  $\mu\text{m}$ . Penyaringan menggunakan syringe berfungsi untuk mendapatkan konsentrat *soluble* (Lech dan Trusek, 2018).



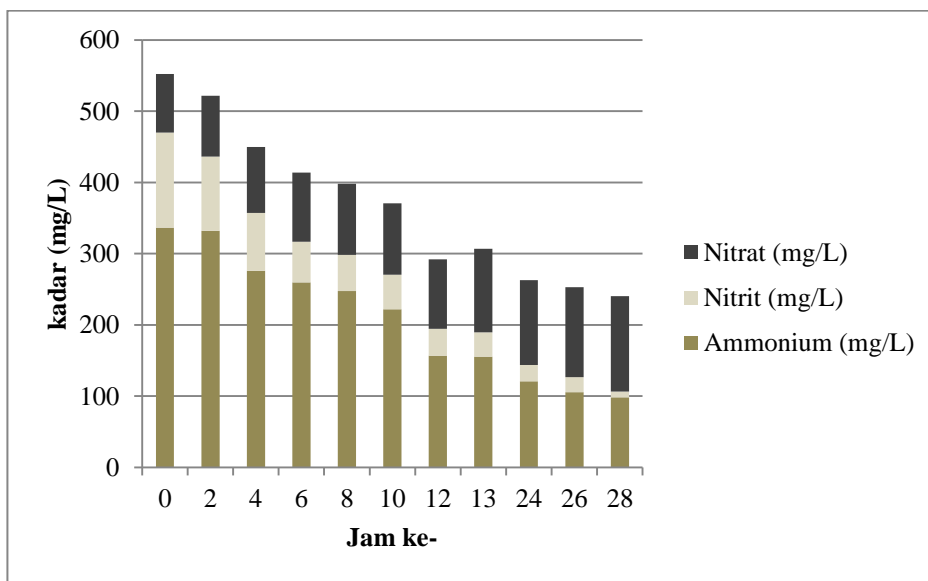


Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran COD Penentuan Waktu Detensi

Berdasarkan Gambar 4.3 pengukuran polutan organik (COD) optimum berada pada *range* jam ke 10 - 12 (sampling ke 6-7). Anoda BDD pada jam ke 12 mampu menguraikan polutan COD hingga 2.936,7 mg/L dari konsentrasi 16.400 mg/L. Anoda platina mampu mendegradasi konsentrasi 3.772 mg/L. Pada jam ke 12 (sampling ke-7) penurunan nitrat, nitrit dan ammonium pada anoda BDD masing-masing sebesar 26,36 mg/L, 30,03 mg/L dan 186 mg/L. Kandungan nitrat pada BDD terurai secara signifikan (removal 68%). Cabeza *et al* (2007) menyebutkan BDD mampu mendegradasi mikro polutan pada lindi. Dengan konsentrasi klor yang tinggi BDD bekerja efektif menguraikan ammonium menjadi nitrat. Konsentrasi penurunan nitrat, nitrit dan ammonium anoda platina sebesar 97,24 mg/L, 37,88 mg/L dan 157 mg/L. Rosca *et al* (2009) menyebutkan pada kondisi basa anoda platina signifikan menguraikan nitrit dengan potensi 0,3-0,4V. Grafik degradasi nitrat, nitrit dan ammonium anoda BDD dan platina dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



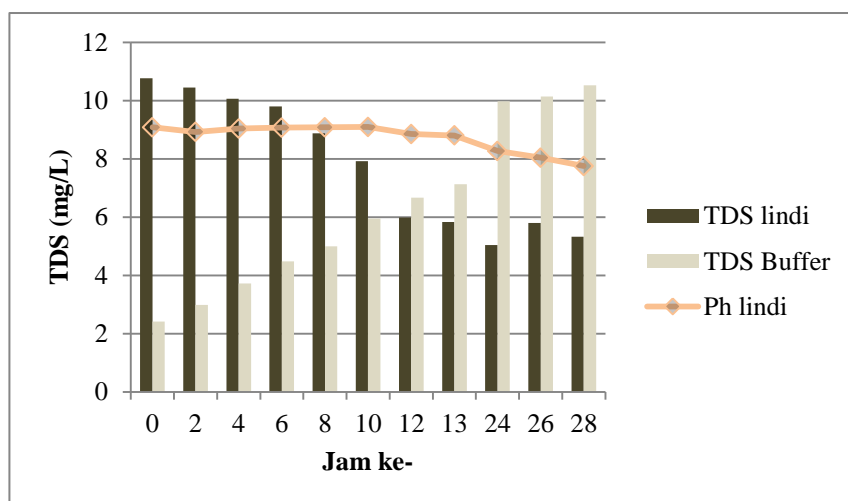
Gambar 4. 4 Hasil Kadar NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> dan NH<sub>4</sub> Anoda BDD pada Penentuan Waktu Detensi



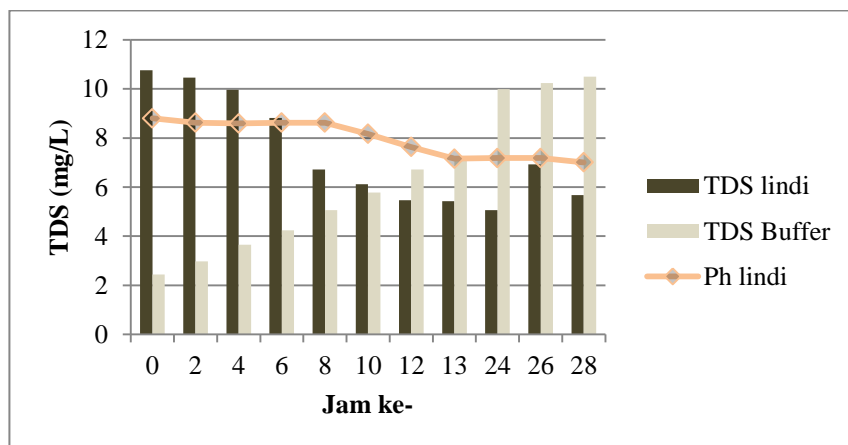
Gambar 4. 5 Hasil Kadar NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> dan NH<sub>4</sub> Anoda Pt pada Penentuan Waktu Detensi

Pemilihan waktu detensi pada polutan organik dan nitrogen didasari oleh kemampuan beban nitrogen pada proses biologis (MBBR). MBBR mudah beradaptasi terhadap jenis ammonium tinggi, rasio BOD/COD yang rendah dan salinitas yang tinggi (Fan *et al.*, 2015; Renou *et al.*, 2008). Sajjad *et al* (2019) menyebutkan membran CEM berperan dalam penyerapan kation seperti NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup> dan Na<sup>+</sup>. Komponen ion seperti PO<sub>4</sub><sup>-</sup>

SO<sub>4</sub><sup>-</sup> dan Cl<sup>-</sup> berpindah ke anoda melalui AEM. Penggunaan membran AEM dan CEM dapat menghasilkan nilai TDS pada limbah sekitar 1.000-5.000 mg/L (Ali *et al.*, 2018). TDS anoda BDD dan Pt pada jam ke 12 pada lindi mengalami penurunan hingga 5.986 mg/L dan 5.463 mg/L. Gambar Keempat data diatas mendasari dipilihnya waktu detensi pengolahan oksidasi pada lindi selama 12 jam dalam sekali *running*.



Gambar 4. 6 Pengaruh Membran pada TDS dan pH Anoda BDD



Gambar 4. 7 Pengaruh Membran pada TDS dan pH Anoda BDD

#### 4.1.3 Perhitungan *Limiting Current*

Penentuan *limiting current* dilakukan untuk mengonfirmasi penentuan arus minimum yang dapat digunakan. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan konsentrasi COD pada jam 12 arus 800 mA. Arus

800 mA dipilih sebagai arus terbesar variasi karena penurunan TDS optimum pada uji polarisasi berada di *range* (486-598 mA). Sesuai Persamaan 2.2. *Limiting current* pada waktu detensi arus 800 mA jam ke 12 untuk anoda BDD dan Pt masing-masing adalah 81,61 mA dan 104 mA. Artinya, pada arus minimal tersebut transfer massa dapat berjalan 100%.

Pemilihan variasi arus minimum 600 mA cukup untuk memenuhi 100% transfer massa pada proses oksidasi polutan. Urtiaga *et al* 2009) menyampaikan kerapatan arus anoda BDD pada 45 mA/cm<sup>2</sup> merupakan kondisi optimum dalam mereduksi polutan organik pada lindi. Anoda platina memiliki kerapatan arus optimum sebesar 30 mA/cm<sup>2</sup> dalam menguraikan polutan organik (De Souza *et al.*, 2007).

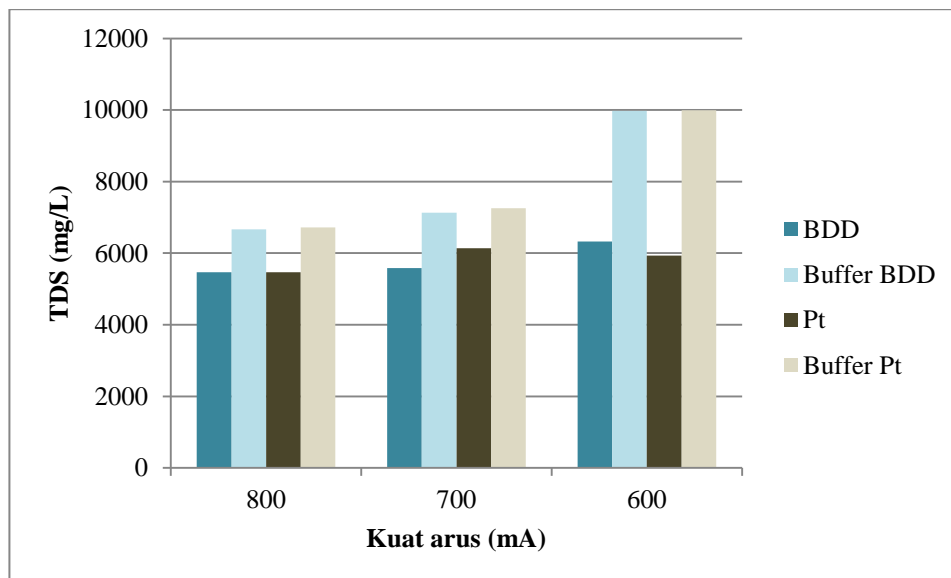
Perawatan elektroda yang dilakukan untuk menjaga proses oksidasi elektrokimia berjalan baik adalah dengan membersihkan anoda BDD menggunakan larutan asam pekat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 M) sebanyak 20 mL (Govindan *et al.*, 2017) pada cawan petri kemudian dibilas akuades. Selanjutnya direndam pada larutan organik (Iso-propanol 1 sebanyak 20 mL) selama 10 menit (Zhao *et al.* 2010) dan dibilas dengan akuades lalu dikeringkan pada suhu ruang. Anoda platina dibersihkan dengan perilaku yang sama namun menggunakan asam lemah (HNO<sub>3</sub> 2M). Larutan asam akan membersihkan residu pada permukaan anoda dan propanol membantu proses penguapan sisa residu organik. Hal ini membuat permukaan anoda menjadi *hydrophobic*. (Panizza dan Martinez-Huitle, 2013;Comninellis dan Chen, 2010; Zhao *et al.*, 2010).

#### **4.2 Pengolahan Lindi secara Elektrokimia**

Hasil analisa laboratorium yang telah dilakukan di lapangan adalah variasi anoda dengan kuat arus 800 dan 700 mA pada lindi dan konsentrat. Untuk arus 600 mA belum selesai dilakukan pada analisa ammonium, nitrit, nitrat, dan COD. Hasil analisa *buffer* fosfat sebagai konsentrat elektrolit dan lindi dijelaskan pada subab berikut.

#### 4.2.1 Proses Elektro dialisis

Pada elektro dialisis terjadi perpindahan kation dan anion yang melewati membran. Kation  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ , dan  $\text{HClO}$  dari kompartemen lindi melalui membran CEM menuju elektroda yang dialiri listrik negatif (katoda SS) dan terperangkap di kompartemen konsentrat. Perpindahan anion seperti  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{ClO}_3^-$ ,  $\text{OCl}^-$ , dan  $\text{NO}_3^-$  terjadi melalui membran AEM menuju elektroda bermuatan positif (anoda) BDD dan platina. Hal ini mengakibatkan konsentrasi TDS lindi akan berkurang sedangkan pada konsentrat semakin tinggi karena menampung perpindahan ion seiring berjalan waktu dan arus yang diberikan. Berikut Gambar 4.8 tentang hasil pengukuran TDS berdasarkan variasi arus.



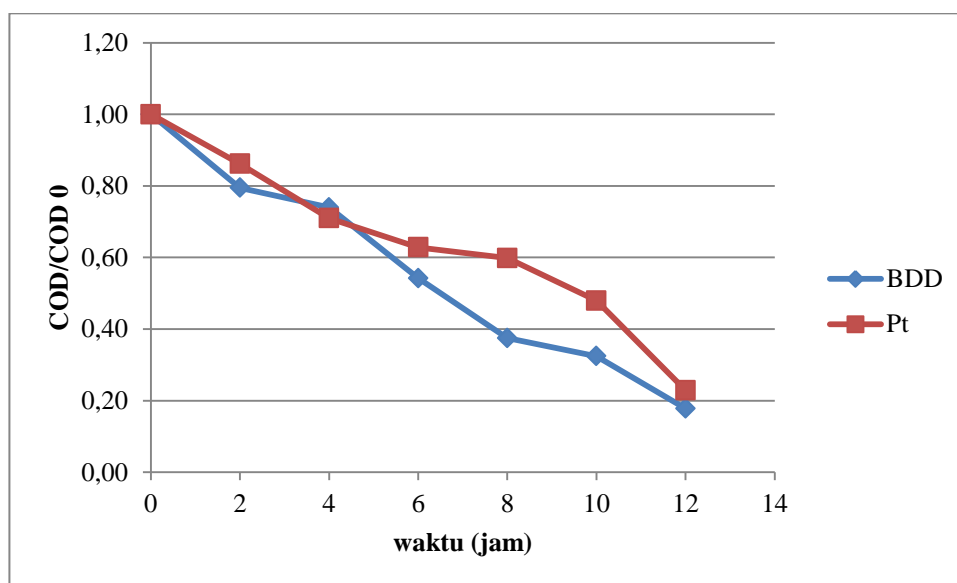
Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran TDS pada Variasi Kuat Arus

Berdasarkan grafik diatas nilai TDS pada lindi pada semua anoda mengalami penurunan, sedangkan TDS pada konsentrat mengalami kenaikan. Hal ini terjadi karena perpindahan ion melewati membran AMI 7000 dan CMI 7000. TDS awal lindi 10.762 mg/L, pada anoda BDD jam ke 12 pada masing-masing kuat arus 600, 700, dan 800 mA adalah 6.328 mg/L, 5.584 mg/L, dan 5.463 mg/L. Begitu juga terjadi penurunan pada anoda Pt yakni 5.936 mg/L, 6.140 mg/L, dan 5.463 mg/L. Kondisi ini menyatakan bahwa ion pada lindi menembus permukaan membran yang

berkumpul di kompartemen *buffer*/konsentrat. Sillanpää dan Shestakova (2017b) menyebutkan ion negatif seperti  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  akan berpindah melalui AEM dan ion positif ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) melewati CEM. Semakin besar arus yang digunakan, akan sejalan dengan kecepatan perpindahan ion pada elektro dialisis (Kreysa, 2014).

#### 4.2.2 Penguraian Polutan Organik

Metcalf dan Eddy (2014) menyebutkan polutan organik terdiri dari 40-60% protein, 25-50% karbohidrat, dan 8-12% minyak. Polutan organik yang terukur pada studi ini adalah COD. Analisa COD dapat memberikan informasi terkait beban organik yang terkandung pada lindi, sehingga pada proses dapat ditentukan penggunaan kriteria desain sesuai *range* beban organik. Penguraian polutan organik pada subbab ini Penurunan COD pada anoda BDD dapat dilihat pada gambar berikut.



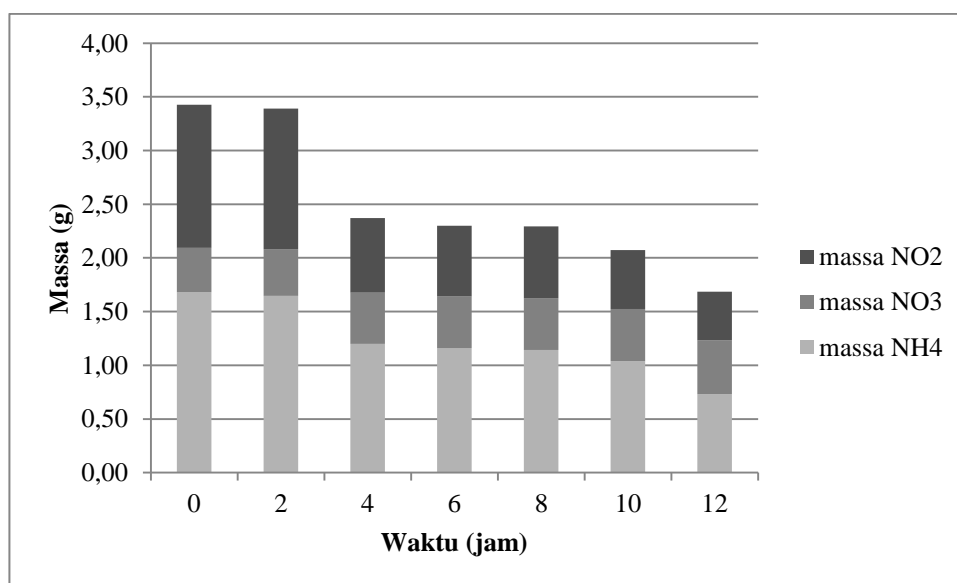
Gambar 4. 9 Hasil pengukuran COD

Hasil penurunan COD pada anoda BDD arus 800, 700 dan 600 mA adalah sebesar dengan hasil 2.890 mg/L, 3.262 mg/L, dan 3.608 mg/L. Persentase penurunan pada elektroda BDD masing-masing mencapai 82,38%, 80,09%, dan 78,72%. Pada anoda Pt hasil penurunan COD mencapai 3.742 mg/L 4.101 mg/L, dan 4.392 mg/L dengan persentase

untuk arus 600 mA, 700 mA, dan 800 mA adalah 73% , 75%, dan 77%. BDD mampu menguraikan organik lebih baik dibanding anoda Pt. Degradasi COD optimum didapatkan pada arus 800 mA untuk dengan massa penyisihan pada BDD dan platina sebesar 21,87 g dan 17,45 g. Penurunan COD dominan terjadi pada platina adalah oksidasi langsung dan oksidasi tidak langsung pada BDD.

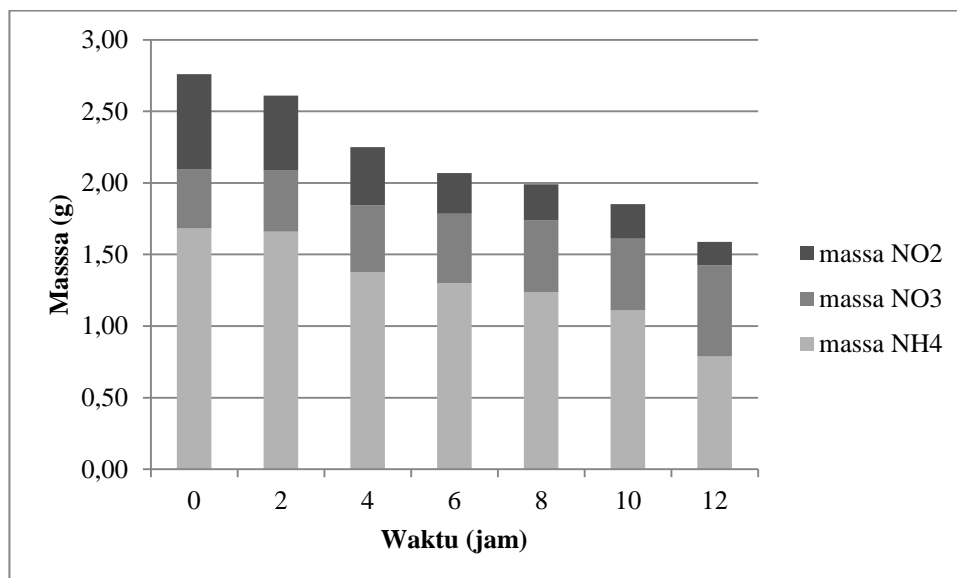
### 4.2.3 Penguraian Polutan Nitrogen

Polutan nitrogen yang diukur pada studi kasus ini meliputi ammonia, nitrat dan nitrit. Sesuai konsep elektro dialisis dan oksidasi, penurunan ini dipengaruhi oleh kecepatan massa transfer ion melewati membran AMI dan CMI. Mekanisme ini berkerja sesuai reaksi *breakpoint* klorinasi (dibahas pada subbab 4.2.4 Pengaruh pH). Penguraian ammonium terjadi karena oksidasi yang dapat dilihat pada Pers.13-16. (Zhao *et al.*, 2010; Anglada *et al.*, 2011). Reaksi ini akan bekerja optimum pada rentang pH 6-7,5 (Díaz *et al.*, 2011). Persamaan reaksi degradasi ammonium dapat dilihat pada Pers.13. Pada proses *breakpoint* klorinasi akan terjadi pembentukan nitrat (Pers.14). BDD akan berkerja lebih efektif dalam mengoksidasi ammonia menjadi nitrat (Fernandes *et al.* 2014). Penurunan siklus nitrogen pada anoda BDD dan platina dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 berikut.





Gambar 4. 10 Hasil  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , dan  $\text{NO}_2$  pada Anoda BDD



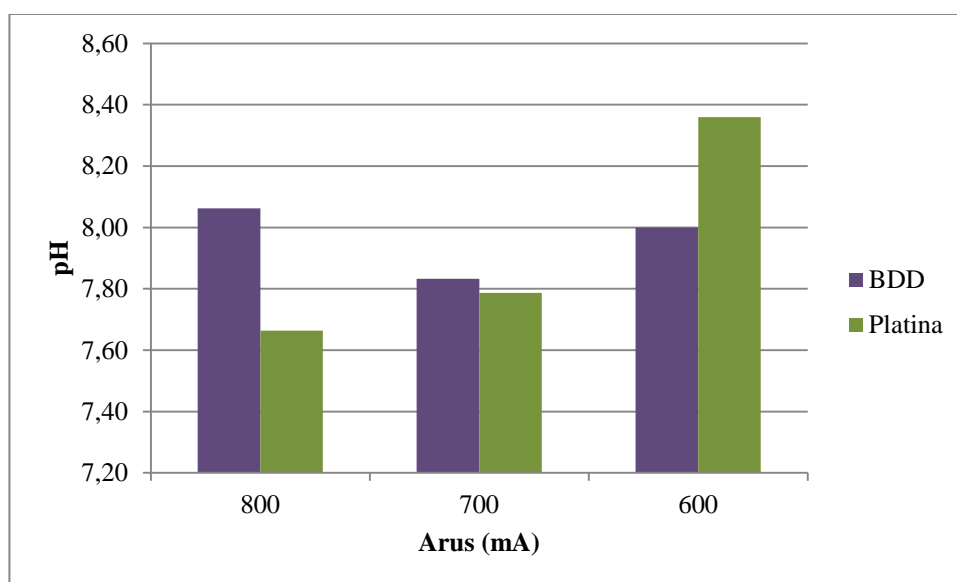
Gambar 4. 11 Komposisi  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , dan  $\text{NO}_2$  pada Anoda Pt

Pada anoda BDD penurunan optimum terjadi pada arus 800 mA dengan massa ammonium, nitrat dan nitrit masing-masing sebesar 0,73 g, 1,22 g, dan 0,45 g. Begitu pula yang terjadi pada breakpoint klorinasi di permukaan anoda Pt. Massa optimum yang tersisihkan di Platina pada ammonium, nitrat dan nitrit yakni 0,79 g, 0,64 g, dan 0,16 g. Sesuai komponennya komponen TKN akan fluktuatif mengikuti N-organik yang masih terdapat pada efluen lindi. Untuk membandingkan efluen TKN, nitrat, nitrit, dan ammonium dirangkum data sekunder pada Tabel 4.2.

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa efluen elektrokimia belum memenuhi standar baku mutu PerMen PU No. 03/PRT/M/2013. Diperlukan pengolahan larutan dari efluen elektrokimia. Zolfaghari *et al* (2016) menyebutkan penerapan oksidasi elektrokimia sebelum MBBR dapat dipilih pengolahan yang efektif dalam 3 hal diantaranya oksidasi senyawa organik mampu menurunkan 48% TOC. Selain itu, oksidasi asam humat dapat meningkatkan bio-availabilitas MBBR. Serta radikal residu dan senyawa organo klorinasi yang dihasilkan pada elektrokimia dapat dihilangkan dengan menaikkan waktu detensi kondisi aerob di MBBR dan adsorpsi pada lumpur.

### 4.2.3 Pengaruh pH

Analisa pH dilakukan pada setelah *running* proses elektrokimia di lindi dan konsentrat. Dalam penelitian ini, tidak dilakukan pengendalian pH. Artinya, tidak dilakukan penambahan asam maupun basa selama proses. Kondisi pH lindi TPA Blandongan berada pada *range* 8,04-8,12. Anglada *et al* (2011) mengklarifikasi terjadi fenomena pH yang berbeda selama proses oksidasi lindi pada anoda BDD dalam skala pilot. Hal ini dipengaruhi faktor evolusi tingkat ion klorida, klorat, karbon organik, dan potensial redoks Saling berhubungan. Analisa pH pada masing-masing variasi arus dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 12 Kondisi pH dalam proses oksidasi di anoda BDD dan Platina

Degradasi polutan organik dan nitrogen pada anoda dipengaruhi pada reaksi *breakpoint* klorinasi. Bentuk klor pada larutan berdasarkan kondisi ( $\text{pH} < 3$ ) berupa klorin, asam hipoklorit pada ( $\text{pH} < 7,5$ ), dan ion hipoklorit pada ( $\text{pH} > 7,5$ ) (Sillanpää dan Shestakova, 2017a). Anoda BDD variasi arus 800 mA, 700 mA, dan 600 mA masing-masing memiliki pH rata-rata sebesar 8,06, 7,83, dan 8. Dari efluen pH tersebut maka dapat disimpulkan spesies klor yang dominan aktif pada penguraian organik dan nitrogen berupa hipoklorit untuk mendegradasi polutan organik dan nitrogen. Hal yang sama terjadi pada anoda platina kuat arus 800 mA.

Penggunaan pH asli lindi dapat mendukung kesesuaian elektrokimia sebagai *pre-treatment* sebelum proses biologis. Masduqi dan Assomadi (2016) menyebutkan klorin aktif berupa HOCl akan bereaksi 40-80 kali lebih besar untuk membunuh bakteri dari pada OCl<sup>-</sup>. Sedangkan klor yang besar akan berpengaruh terhadap penurunan mikroba pada sistem biologis (Dezotti *et al.*,2017). Persamaan kinetika yang kemungkinan terjadi sesuai Pers.10. Perhitungan tentang kemungkinan efluen klorin pada lindi dapat dilihat pada Lampiran III.

#### 4.2.5 Kebutuhan Energi

Efisiensi kebutuhan energi dihitung dengan membandingkan konsumsi energi terhadap persentase polutan organik pada masing-masing variabel. Perhitungan kebutuhan energi spesifik ini dihitung sesuai Pers. 3.2 dan Pers. 3.3. Contoh perhitungan kebutuhan energi pada Anoda BDD arus 0,8 A dapat dilihat di Lampiran III. Hasil penguraian polutan organik terhadap energi disampaikan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Energi Spesifik

	a	b	c	d	e	f = b.a.c/10 <sup>3</sup> .e	g = a.b.c/10 <sup>3</sup> .e.d
	i	U	t	COD0-CODt	V	SEC	
Anoda	A	V	jam	mg/L	L	kWh/m <sup>3</sup>	kWh/g COD
BDD	0,8	10,57	12	13,50	4,95	0,50	68
	0,7	8,93	12	13,13	4,95	0,37	49
	0,6	9,17	12	12,91	4,95	0,32	42
Pt	0,8	10,23	12	12,65	4,95	0,48	62
	0,7	7,57	12	12,29	4,95	0,31	39
	0,6	7,87	12	12,02	4,95	0,28	34

Berdasarkan tabel diatas removal COD optimum 33,33 mA/cm<sup>2</sup> BDD sebesar 0,5 kWh/m<sup>3</sup> atau 68 kWh/g COD dan Pt sebesar 0,48 kWh/m<sup>3</sup> atau 62 kWh/g COD. Pada proses *maintenance* anoda platina memiliki umur yang lebih panjang dibanding BDD (Comninellis dan Chen, 2010). Ukundimana *et al* (2018) melakukan oksidasi Anoda DSA Ti/IrO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kerapatan arus tertinggi 360 A/m<sup>2</sup> hasil SEC sebesar 194,87 kWh/kg COD.

Kerapatan arus 60 A/m<sup>2</sup> hasil SEC 15,67 kWh/kg COD. Serikawa *et al* (2009) melaporkan penguraian COD dan ammonia dengan BDD reaktor skala pilot pada COD 14.000 mg/L membutuhkan energi sebesar 420 kWh/m<sup>3</sup> (30 kWh/kg COD).

#### 4.2.6 Biaya Operasional

Variabel aspek finansial pada penelitian ini berupa biaya operasional yang dibutuhkan sebagai bahan pertimbangan aplikasi elektro oksidasi di lapangan. Perhitungan biaya operasional dapat dilihat pada Lampiran III. Kebutuhan biaya pada penyisihan COD optimum elektroda BDD sebesar 188.560 rupiah dan platina sebesar 188.714 rupiah. (Rodrigo *et al.*, 2009) melakukan studi penentuan biaya operasi pada 2 proses sistem ozon dan Conductive Diamond Electrochemical Oxidation (CDEO) penelitian ozon dilakukan secara *semi-batch* (pengisian gas dilakukan secara kontinu). Reaktor ozonasi memiliki volume 2,5 dm<sup>3</sup> dengan debit gas sebesar 0,5 dm<sup>3</sup>/min. rata-rata produksi ozon 1g/h pada pH 12±0,1. Sistem kedua berupa CDEO yang bekerja secara batch. Luas area elektroda sebesar 78 cm<sup>2</sup> dan perbedaan gap sebesar 9 mm. reaktor dengan volume efektif 0,6 dm<sup>3</sup> berjalan dengan debit 2,5 dm<sup>3</sup>/h. Hasilnya ozonasi membutuhkan biaya operasi dengan range 8,5-10 €.kg<sup>-1</sup>O<sub>2</sub> atau (140.667-165.490 rupiah/kg O<sub>2</sub>) dan 2,4-4 €.kg<sup>-1</sup>O<sub>2</sub> (39.718-66.196 rupiah/kg O<sub>2</sub>).

Tabel 4. 3 Biaya Operasional terhadap Variasi Penelitian

Anoda dan arus	Kebutuhan energi		Biaya satuan Rp	Beban loading g.L/jam	Biaya operasional	
	kWh/g COD	kWh/L			Rp	
BDD-800	67,84	502	1047	2	129.422	957.993
BDD-700	48,79	371	1047	2	93.078	708.673
BDD-600	41,79	327	1047	2	79.735	623.300
Pt-800	61,55	486	1047	2	117.432	927.773
Pt-700	38,69	315	1047	2	73.824	600257
Pt-600	33,67	280	1047	2	64.229	534905

#### 4.2.7 Aplikasi Studi Elektrokimia

Studi ini menggunakan 2 konsep elektrokimia diantaranya elektro dialisis dan oksidasi. Reaktor elektrokimia merupakan salah satu teknologi yang masih berkembang untuk diaplikasikan di lapangan. (Comninellis & Chen, 2010b) menyimpulkan beberapa hal yang harus diperhatikan dalam aplikasi lapangan diantaranya:

- 1) Toleransi suhu
- 2) Harga material elektroda
- 3) Densitas dan kestabilan operasi
- 4) Konfigurasi reaktor
- 5) Konduktivitas substrat
- 6) Pemilihan elektroda yang memiliki umur panjang dan perawatan yang mudah.

Dari 2 anoda yang digunakan, platina memiliki performa yang kokoh dibanding BDD. Henri (1980) meninjau penelitian pada DSA dan aplikasi industri. Stabilitas pada anoda dinilai dari usia, kinerja yang stabil, dan efluen residu oksida logam yang ramah lingkungan. Selain itu kepadatan arus yang tinggi dan efisiensi listrik yang tinggi dapat meningkatkan aktivitas evolusi gas klor. Anoda berbahan ruthenium dan titanium menjadi pilihan anoda yang aplikatif untuk industri.

DSA dapat dikategorikan menjadi oksida logam tunggal, oksida logam biner dan elektro oksida logam ternary (memiliki fase penyusun yang lebih banyak). Kombinasi yang tepat dari berbagai oksida logam diketahui memberikan efek sinergis terhadap reaksi transfer electron dan stabilitas elektroda. Penerapan elektro oksidasi telah diperluas ke bidang akademisi dan industri (khususnya industri yang berkutut dengan klor-alkali) (Comninellis & Chen, 2010a). DSA anoda yang banyak diaplikasikan di industri diantaranya: SnO<sub>2</sub>, Tantalum Oksida (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), (Sata *et al.*, 2004;Guo dan Chen, 2007). Adapun kelebihan dan kekurangan aplikasi elektrokimia dilapangan dijelaskan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Kelebihan dan Kekurangan Aplikasi Elektrokimia

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Sistem elektro dialisis dapat memulihkan konsentrat ion $\text{NH}_4\text{-N}$ , $\text{K}$ , $\text{PO}_4\text{-P}$ (Sajjad <i>et al.</i> , 2019).	Dibutuhkan <i>pretreatment</i> sedimentasi /filter untuk mengurangi pengotor yang dapat mengakibatkan penyumbatan membran (akibat TSS lindi yang tinggi) agar tidak mengganggu sistem elektro dialisis (F. Wang & Tarabara, 2008).
2	Metode ramah lingkungan dan mampu menyerap oksigen lebih banyak dari struktur bahannya (Sillanpää & Shestakova, 2017b).	Perlu kajian lebih dalam pada pemilihan anoda yang stabil dan memiliki perawatan yang ekonomis (Kasem & Jones, 2008).
3	Energi yang dibutuhkan dengan proses elektro dialisis lebih ringan dibanding reserve osmosis (Trellu <i>et al.</i> , 2018).	Stabilitas membran terhadap suhu terbatas. umumnya dilakukan pada suhu ruang (Babel <i>et al.</i> , 2017).
4	anoda BDD memiliki potensi tinggi terhadap oksidasi organik dan ammonia, anoda konduktif yang baik pada suhu rendah, stabil dan tahan terhadap korosi (Sillanpää & Shestakova., 2017b).	harga anoda BDD mahal, efluen menjadi lebih encer dan kerapatan arus bisa lebih tinggi daripada <i>limiting current</i> (Sillanpää & Shestakova., 2017b).
5	Anoda platina stabil terhadap variasi pH dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang (Sillanpää & Shestakova. 2017b).	Harga anoda platina mahal dan rendah pada proses mineralisasi (Sillanpää & Shestakova., 2017b).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## BAB V

# KESIMPULAN DAN SARAN



## **BAB 5 PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan pada studi ini, yakni:

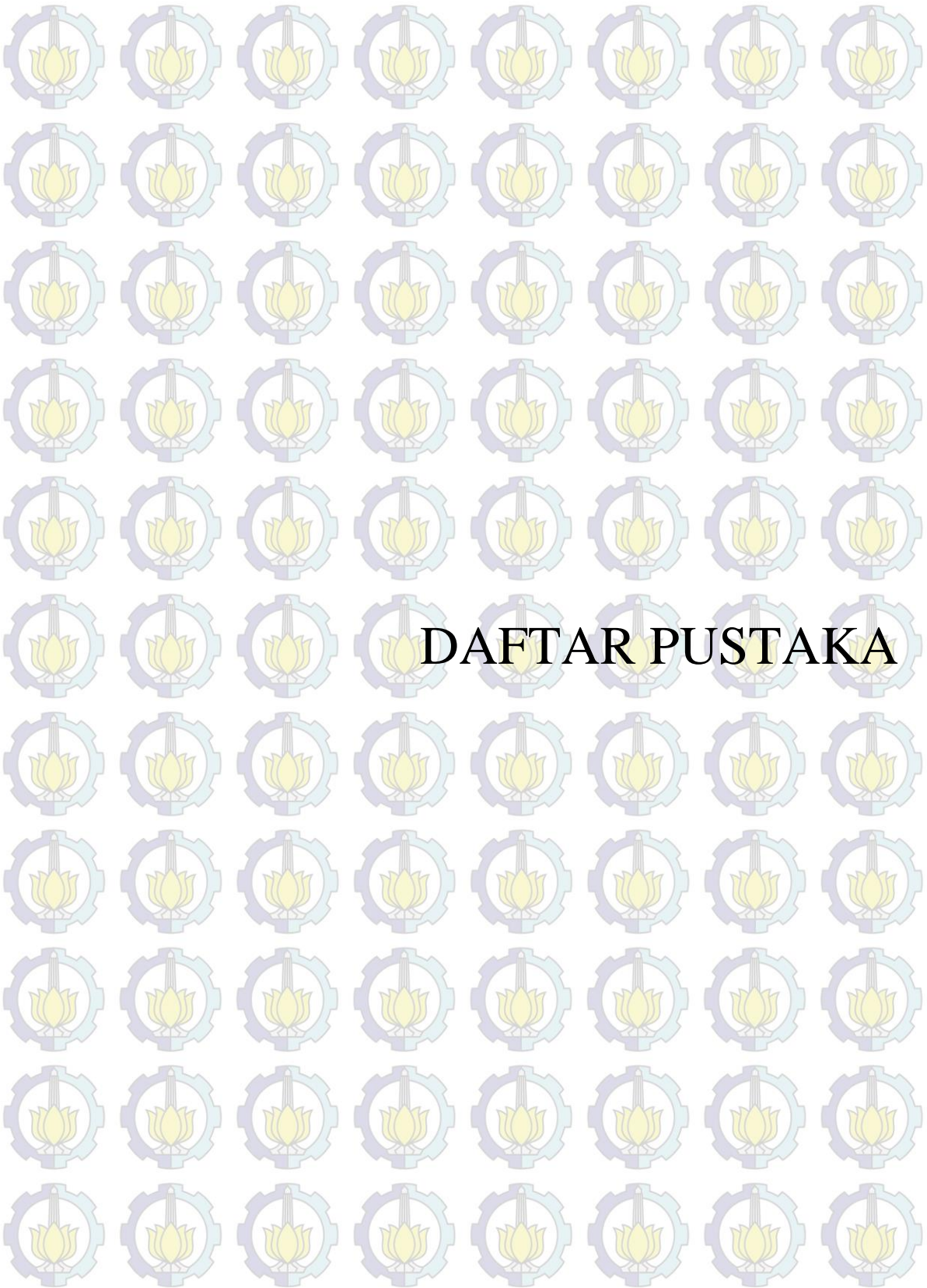
1. Nilai optimum oksidasi elektrokimia terdapat pada kuat arus 800 mA anoda BDD sebesar 2.890 mg/L (82,38%). BDD mampu mendegradasi lebih efektif dibanding platina.
2. Nilai optimum oksidasi polutan ammonium-nitrogen terdapat pada anoda BDD arus 800 mA sebesar 147,42 mg/L (62,28%).
3. Energi yang dibutuhkan untuk menguraikan polutan organik optimum anoda BDD sebesar 68 kWh/g COD (dalam beban *loading* COD 2 g.L/jam).
4. Biaya operasional pada penguraian optimum polutan organik anoda BDD sebesar Rp 129.422,00/g COD.

### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah:

1. Proses oksidasi elektrokimia yang dilakukan secara batch/kontinyu sebaiknya dilakukan dalam kondisi ruang yang memiliki sirkulasi udara yang cukup dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) untuk menghindari paparan gas klor.
2. Diperlukan pengendalian pH untuk degradasi warna lindi karena efluen lindi hingga MBBR masih belum turun.
3. Penelitian lebih lanjut terkait klor dan asam humat pada lindi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



# DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Salam, M. M., & Abu-Zuid, G. I. (2015). Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. *Journal of Advanced Research*, 6(4), 579–586. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.02.003>
- Acevedo-Morantes, M., Colón, G., & Realpe, A. (2011). Electrolytic removal of nitrate and potassium from wheat leachate using a four compartment electrolytic cell. *Desalination*, 278(1–3), 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.051>
- Ahmed, F. N., & Lan, C. Q. (2012). Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination*, 287, 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.12.012>
- Aloui, F., Fki, F., Loukil, S., & Sayadi, S. (2009). Application of combined membrane biological reactor and electro-oxidation processes for the treatment of landfill leachates. *Water Science and Technology*, 60(3), 605–614. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.377>
- Anglada, Á., Urtiaga, A., Ortiz, I., Mantzavinos, D., & Diamadopoulos, 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. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.017>
- Aziz, H. A., Mohd. Zahari, M. S., Adlan, M. N., & Hung, Y. T. (2012). Physicochemical treatment processes of landfill leachate. *Handbook of Environment and Waste Management: Air and Water Pollution Control*, 819–888. [https://doi.org/10.1142/9789814327701\\_0019](https://doi.org/10.1142/9789814327701_0019)
- Ballesteros Martín, M. M., Casas López, J. L., Oller, I., Malato, S., & Sánchez Pérez, J. A. (2010). A comparative study of different tests for biodegradability enhancement determination during AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(6), 1189–1195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.07.021>
- Bashir, M. J. K., Isa, M. H., Kutty, S. R. M., Awang, Z. Bin, Aziz, H. A., Mohajeri, S., & Farooqi, I. H. (2009). Landfill leachate treatment by electrochemical oxidation. *Waste Management*, 29(9), 2534–2541. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.004>
- Brillas, E., Thiam, A., & Garcia-Segura, S. (2016). Incineration of acidic aqueous solutions of dopamine by electrochemical advanced oxidation processes with Pt and BDD anodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 775, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.04.054>

- Cabeza, A., Urriaga, A., Rivero, M. J., & Ortiz, I. (2007). Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, 144(3), 715–719. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.106>
- Comninellis, C., & Chen, G. (2010a). Electrochemistry for the environment. *Electrochemistry for the Environment*, 1–563. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68318-8>
- Comninellis, C., & Chen, G. (2010b). Electrochemistry for the environment. In *Electrochemistry for the Environment*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68318-8>
- Deborde, M., & Gunten, U. Von. (2008). *Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment — Kinetics and mechanisms: A critical review*. 42, 13–51. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.025>
- Del Moro, G., Prieto-Rodríguez, L., De Sanctis, M., Di Iaconi, C., Malato, S., & Mascolo, G. (2016). Landfill leachate treatment: Comparison of standalone electrochemical degradation and combined with a novel biofilter. *Chemical Engineering Journal*, 288, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.069>
- Dezotti, M., Lippel, G., & Bassin, J. P. (2017). Advanced biological processes for wastewater treatment: Emerging, consolidated technologies and introduction to molecular techniques. In *Advanced Biological Processes for Wastewater Treatment: Emerging, Consolidated Technologies and Introduction to Molecular Techniques*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58835-3>
- Díaz, V., Ibáñez, R., Gómez, P., Urriaga, A. M., & Ortiz, I. (2011). Kinetics of electro-oxidation of ammonia-N, nitrites and COD from a recirculating aquaculture saline water system using BDD anodes. *Water Research*, 45(1), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.020>
- Ding, J., Wei, L., Huang, H., Zhao, Q., Hou, W., Kabutey, F. T., ... Dionysiou, D. D. (2018). Tertiary treatment of landfill leachate by an integrated Electro-Oxidation/Electro-Coagulation/Electro-Reduction process: Performance and mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, 351(February), 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.02.038>
- Fan, J., Ji, F., Xu, X., Wang, Y., Yan, D., Xu, X., ... He, Q. (2015). Prediction of the effect of fine grit on the MLVSS/MLSS ratio of activated sludge. *Bioresource Technology*, 190, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.035>
- Feki, F., Aloui, F., Feki, M., & Sayadi, S. (2009). Electrochemical oxidation

- post-treatment of landfill leachates treated with membrane bioreactor. *Chemosphere*, 75(2), 256–260. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.12.013>
- Fernandes, A., Santos, D., Pacheco, M. J., Ciríaco, L., & Lopes, A. (2014). Nitrogen and organic load removal from sanitary landfill leachates by anodic oxidation at Ti/Pt/PbO<sub>2</sub>, Ti/Pt/SnO<sub>2</sub>-Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Si/BDD. *Applied Catalysis B: Environmental*, 148–149, 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.10.060>
- Fudala-Ksiazek, S., Sobaszek, M., Luczkiewicz, A., Pieczynska, A., Ofiarska, A., Fiszka-Borzyszkowska, A., ... Siedlecka, E. M. (2018). Influence of the boron doping level on the electrochemical oxidation of raw landfill leachates: Advanced pre-treatment prior to the biological nitrogen removal. *Chemical Engineering Journal*, 334, 1074–1084. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.196>
- Govindan, M., Zhu, B., Duke, M., Gray, S., & Moon, I. S. (2017). Co<sup>3+</sup> homogeneous mediator generation efficiency in a divided tubular electrochemical reactor with MFI-type zeolite membrane. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 52(2016), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.03.017>
- Gupta, S. K., & Singh, G. (2007). Assessment of the efficiency and economic viability of various methods of treatment of sanitary landfill leachate. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1–3), 107–117. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9714-2>
- Ho, N. A. D., Babel, S., & Kurisu, F. (2017). Bio-electrochemical reactors using AMI-7001S and CMI-7000S membranes as separators for silver recovery and power generation. *Bioresource Technology*, 244(June), 1006–1014. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.086>
- Hung, Y.-T., Wang, L. K., & Shammas, N. K. (2013). Handbook of Environment and Waste Management. In *Handbook of Environment and Waste Management*. <https://doi.org/10.1142/8699>
- Kasem, K. K., & Jones, S. (2008). Platinum as a reference electrode in electrochemical measurements. *Platinum Metals Review*, 52(2), 100–106. <https://doi.org/10.1595/147106708X297855>
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297–336. <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Komesu, A., Maciel, M. R. W., & Filho, R. M. (2017). Separation and purification technologies for lactic acid - A brief review. *BioResources*, 12(3), 6885–6901. <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.6885-6901>

- Kreysa, G. (2014). Encyclopedia of Applied Electrochemistry. In *Encyclopedia of Applied Electrochemistry*.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6996-5>
- Krogmann, U., & Woyzechowski, H. (2000). Selected characteristics of leachate, condensate and runoff released during composting of biogenic waste. *Waste Management and Research*, *18*(3), 235–248.  
<https://doi.org/10.1034/j.1399-3070.2000.00131.x>
- Labiadh, L., Fernandes, A., Ciríaco, L., Pacheco, M. J., Gadri, A., Ammar, S., & Lopes, A. (2016). Electrochemical treatment of concentrate from reverse osmosis of sanitary landfill leachate. *Journal of Environmental Management*, *181*, 515–521.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.069>
- Lech, M., & Trusek, A. (2018). Batch Electrodialysis of Lactic Acid Obtained from Lab Fermentation. *Polish Journal of Chemical Technology*, *20*(3), 81–86. <https://doi.org/10.2478/pjct-2018-0042>
- Lee, A. H., Nikraz, H., & Hung, Y. T. (2010). Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality. *International Journal of Environmental Science and Development*, *1*(4), 347–350.  
<https://doi.org/10.7763/ijesd.2010.v1.68>
- Lee, B. S., Park, H. Y., Choi, I., Cho, M. K., Kim, H. J., Yoo, S. J., ... Jang, J. H. (2016). Polarization characteristics of a low catalyst loading PEM water electrolyzer operating at elevated temperature. *Journal of Power Sources*, *309*, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.12.139>
- Liu, J., Liu, L., Gao, B., & Yang, F. (2013). Integration of bio-electrochemical cell in membrane bioreactor for membrane cathode fouling reduction through electricity generation. *Journal of Membrane Science*, *430*, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.11.046>
- Long, J., Deng, L., & Che, D. (2020). Analysis on organic compounds in water leachate from biomass. *Renewable Energy*, *155*, 1070–1078.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.033>
- Mandal, P., Dubey, B. K., & Gupta, A. K. (2017). Review on landfill leachate treatment by electrochemical oxidation: Drawbacks, challenges and future scope. *Waste Management*, *69*, 250–273.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.034>
- Masduqi, A., & Assomadi, A. F. (2012). Operasi dan proses pengolahan air. ITS Press: Surabaya.
- Moreira, F. C., Soler, J., Fonseca, A., Saraiva, I., Boaventura, R. A. R., Brillas, E., & Vilar, V. J. P. (2016). Electrochemical advanced oxidation processes for sanitary landfill leachate remediation: Evaluation of operational variables. *Applied Catalysis B: Environmental*, *182*, 161–171.

<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.09.014>

- Müller, G. T., Giacobbo, A., dos Santos Chiamonte, E. A., Rodrigues, M. A. S., Meneguzzi, A., & Bernardes, A. M. (2015). The effect of sanitary landfill leachate aging on the biological treatment and assessment of photoelectrooxidation as a pre-treatment process. *Waste Management*, 36, 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.024>
- Metcalf dan Eddy. 2004. *Wastewater Engineering. Treatment and Resource Recovery*. New York: MC Graw Hill.
- Oller, I., Malato, S., & Sánchez-Pérez, J. A. (2011). Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination-A review. *Science of the Total Environment*, 409(20), 4141–4166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.061>
- Oturan, N., Hullebusch, E. D. Van, Zhang, H., Mazeas, L., Budzinski, H., Menach, K. Le, & Oturan, M. A. (2015). *Occurrence and removal of organic micropollutants in landfill leachates treated by electrochemical advanced oxidation processes* Occurrence and removal of organic micropollutants in landfill leachates treated by electrochemical advanced oxidation processes. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02809>
- Panizza, M., & Martinez-Huitle, C. A. (2013). Role of electrode materials for the anodic oxidation of a real landfill leachate - Comparison between Ti-Ru-Sn ternary oxide, PbO<sub>2</sub> and boron-doped diamond anode. *Chemosphere*, 90(4), 1455–1460. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.006>
- Quan, X., Cheng, Z., Chen, B., & Zhu, X. (2013). Electrochemical oxidation of recalcitrant organic compounds in biologically treated municipal solid waste leachate in a flow reactor. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 25(10), 2023–2030. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60253-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60253-8)
- Ramprasad, C., & Gopalakrishnan, A. N. (2012). Electrochemical treatment of landfill leachate. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 15(3/4/5/6), 377. <https://doi.org/10.1504/ijetm.2012.049235>
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Rosca, V., Duca, M., DeGroot, M. T., & Koper, M. T. M. (2009). Nitrogen Cycle Electrocatalysis. *Chemical Reviews*, 109(6), 2209–2244.



<https://doi.org/10.1021/cr8003696>

- Roy, D., Azaïs, A., Benkaraache, S., Drogui, P., & Tyagi, R. D. (2018). Composting leachate: characterization, treatment, and future perspectives. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 17(2), 323–349. <https://doi.org/10.1007/s11157-018-9462-5>
- Sa, C., Rodrigo, M. A., & Ca, P. (2009). *Costs of the electrochemical oxidation of wastewaters : A comparison with ozonation and Fenton oxidation processes.* 90, 410–420. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.10.010>
- Sajjad, A.-A., Yunus, M. Y. B. M., Azoddein, A. A. M., Hassell, D. G., Dakhil, I. H., & Hasan, H. A. (2019). Electrodialysis Desalination for Water and Wastewater: A Review. *Chemical Engineering Journal*, 122231. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122231>
- Shiva Kumar, S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442–454. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>
- Sidik, F. (2019). *Proses elektrokimia menggunakan anoda platina (Pt) dan aluminium (Al) untuk pengolahan awal lindi.* Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.
- Siddharth, K., Chan, Y., Wang, L., & Shao, M. (2018). Ammonia electro-oxidation reaction: Recent development in mechanistic understanding and electrocatalyst design. *Current Opinion in Electrochemistry*, 9(5), 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2018.03.011>
- Sillanpää, M., & Shestakova, M. (2017a). Electrochemical Water Treatment Methods. In *Electrochemical Water Treatment Methods: Fundamentals, Methods and Full Scale Applications.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811462-9.00002-5>
- Sillanpää, M., & Shestakova, M. (2017b). Equipment for Electrochemical Water Treatment. In *Electrochemical Water Treatment Methods: Fundamentals, Methods and Full Scale Applications.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811462-9.00004-9>
- Shofiana, Arum.H. (2019). Oksidasi elektrokimia dengan menggunakan anoda BDD, Ti/IrO<sub>2</sub> dan Ti/Pt Pada Lindi terolah secara Biologis. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.
- Silva, A. C., Dezotti, M., & Sant'Anna, G. L. (2004). Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. *Chemosphere*, 55(2), 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.013>

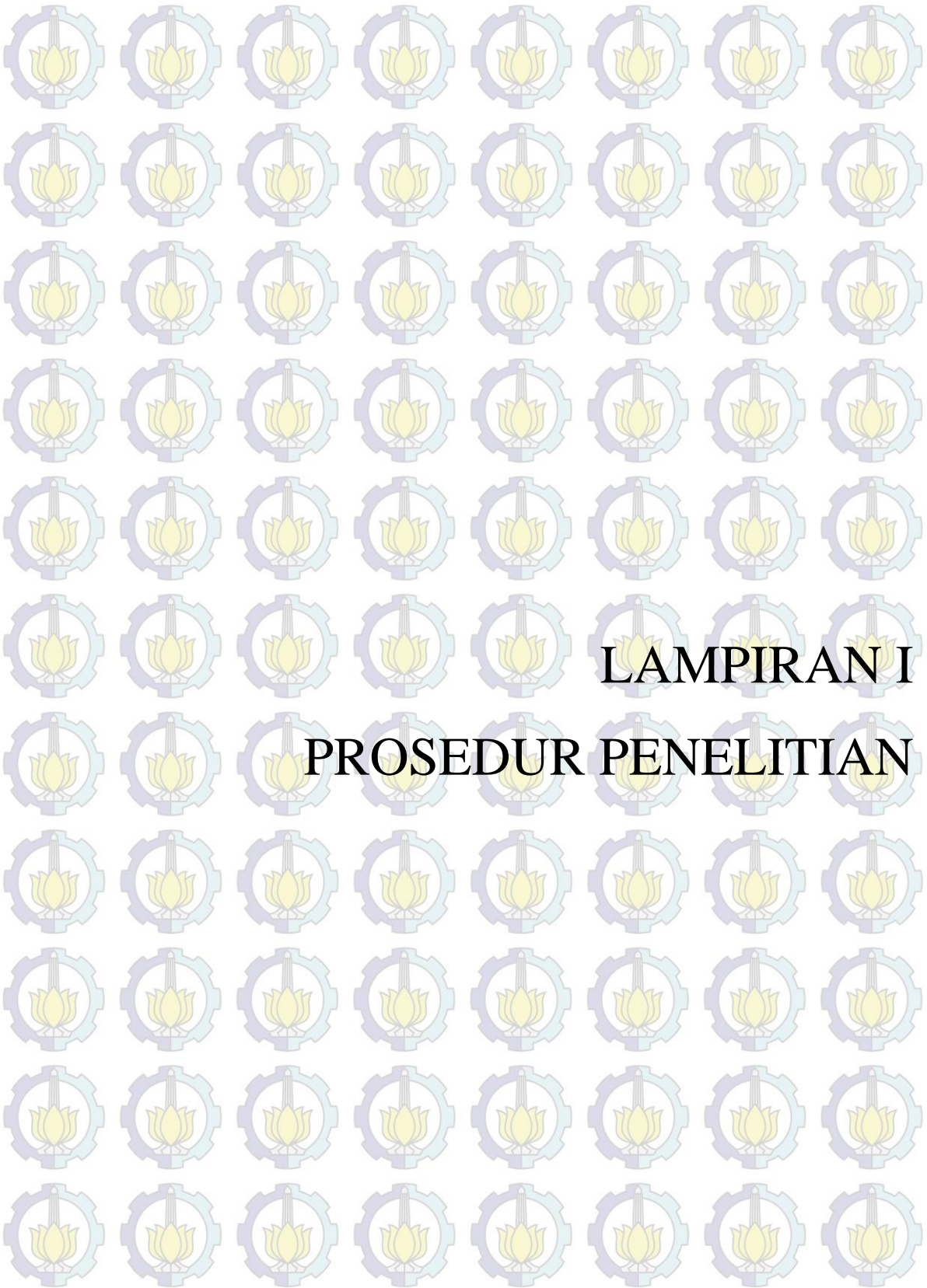
- Tang, D., Zheng, K., Yin, H., Mao, X., Sadoway, D. R., & Wang, D. (2018). Electrochemical growth of a corrosion-resistant multi-layer scale to enable an oxygen-evolution inert anode in molten carbonate. *Electrochimica Acta*, 279, 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.05.095>
- Trellu, C., Chaplin, B. P., Coetsier, C., Esmilaire, R., Cerneaux, S., Causserand, C., & Cretin, M. (2018). Electro-oxidation of organic pollutants by reactive electrochemical membranes. *Chemosphere*, 208, 159–175. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.026>
- Ukundimana, Z., Omwene, P. I., Gengec, E., Can, O. T., & Kobya, M. (2018). Electrooxidation as post treatment of ultrafiltration effluent in a landfill leachate MBR treatment plant: Effects of BDD, Pt and DSA anode types. *Electrochimica Acta*, 286, 252–263. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.08.019>
- Urriaga, A., Rueda, A., Anglada, Á., & Ortiz, I. (2009). Integrated treatment of landfill leachates including electrooxidation at pilot plant scale. *Journal of Hazardous Materials*, 166(2–3), 1530–1534. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.037>
- Vincenzo Naddeo, A. C. (2013). Wastewater Treatment by Combination of Advanced Oxidation Processes and Conventional Biological Systems. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 04(08). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000208>
- Wang, F., & Tarabara, V. V. (2008). Pore blocking mechanisms during early stages of membrane fouling by colloids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 328(2), 464–469. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.09.028>
- Wang, Y., Miao, B., Hou, D., Wu, X., & Peng, B. (2012). Biodegradation of di-n-butyl phthalate and expression of the 3,4-phthalate dioxygenase gene in *Arthrobacter* sp. ZH 2 strain. *Process Biochemistry*, 47(6), 936–940. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.02.027>
- Wida, A., dan Herumurti, W. (2018). "Pengolahan Lindi Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor ( MBBR ) dengan Pre-treatment Ozon untuk Menurunkan Konsentrasi COD". Teknik Lingkungan ITS: Surabaya.
- Zhang, H., Ran, X., Wu, X., & Zhang, D. (2011). Evaluation of electro-oxidation of biologically treated landfill leachate using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 188(1–3), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.097>
- 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. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1–3), 1078–1083. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.115>

Zhou, B., Yu, Z., Wei, Q., Long, H. Y., Xie, Y., & Wang, Y. (2016). Electrochemical oxidation of biological pretreated and membrane separated landfill leachate concentrates on boron doped diamond anode. *Applied Surface Science*, 377, 406–415. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.03.045>

Zhuang, H., Han, H., Jia, S., Zhao, Q., & Hou, B. (2014). Advanced treatment of biologically pretreated coal gasification wastewater using a novel anoxic moving bed biofilm reactor (ANMBBR)-biological aerated filter (BAF) system. *Bioresource Technology*, 157, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.105>

Zolfaghari, M., Jardak, K., Drogui, P., Brar, S. K., Buelna, G., & Dubé, R. (2016). Landfill leachate treatment by sequential membrane bioreactor and electro-oxidation processes. *Journal of Environmental Management*, 184, 318–326. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.010>



LAMPIRAN I  
PROSEDUR PENELITIAN

## LAMPIRAN I PROSEDUR PENELITIAN

### 1. COD (SNI 6989 72 2009)

#### Alat dan Bahan

- (1) Tabung vial COD
- (2) Closed Refluks Digester
- (3) Digestion solution

Melarutkan 10,216 g  $K_2Cr_2O_7$  yang telah dikeringkan selama 2 jam pada suhu  $150^\circ C$  ke dalam 500 mL akuades, menambahkan 167 mL  $H_2SO_4$  pekat dan 33,3 g  $HgSO_4$ , kemudian mendinginkannya dan mengencerkan dengan akuades hingga volume 100 mL

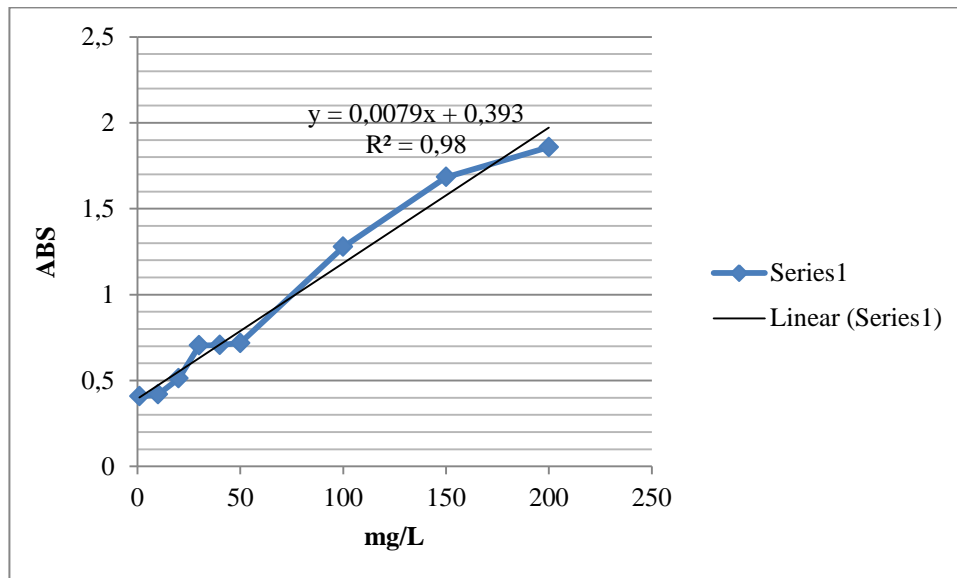
- (4) Sulfuric acid reagent

Menambahkan  $AgSO_4$  ke dalam  $H_2SO_4$  pekat dengan komposisi 5,5 g  $AgSO_4$  / kg  $H_2SO_4$ . Reagen diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga homogen.

#### Prosedur

- (1) Membersihkan tabung vial COD, caranya dibilas dan dikocok dengan air kran sebanyak 1 kali, kemudian dengan akuades 2 kali, lalu dikeringkan.
- (2) Mengambil 2 mL sampel yang telah diencerkan 100 kali.
- (3) Menambahkan 1,5 mL digestion solution atau larutan dikromat.
- (4) Menambahkan 2,5 mL sulfuric acid reagent.
- (5) Mengatur suhu pada thermoreactor hingga  $150^\circ C$ .
- (6) Memasukkan vial ke dalam thermoreactor, lalu tekan tombol run/enter.
- (7) Menurunkan suhu digester setelah 2 jam, tunggu hingga suhu  $60^\circ C$ . Kemudian ambil vial, diamkan hingga bersuhu ruang dan suspensi larutannya mengendap.
- (8) Memindahkan sampel dari vial COD ke dalam vial spektrofotometer
- (9) Baca konsentrasi COD berdasarkan absorbansi dan hasil kalibrasi yang keluar dari pembacaan oleh Spektroquant Nova-60 A.
- (10) Hasil kalibrasi spektrofotometri dengan larutan standar Kalium Hidrogen Ptalat (KHP) dengan panjang gelombang optimum 500 nm adalah sebagai berikut.

KHP (mg/L)	1	10	20	30	40	50	100	150	200
Abs	0,407	0,418	0,511	0,703	0,706	0,717	1,277	1,684	1,858



(11) Menghitung nilai konsentrasi COD menggunakan persamaan  $Y = 0,0079x + 0,393$  dikalikan faktor pengenceranya.

## 2. Pengukuran BOD (SNI 6989.72.2009)

### Alat dan Bahan

- (1) Labu pengencer 100 mL
- (2) Labu takar 500 mL
- (3) Botol Winkler 300 mL dan 150 mL
- (4) Larutan *Buffer* Fosfat

Larutkan 0,85 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0,2175 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0,334 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan 0,17 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ke dalam 100 mL akuades pada labu pengencer 100 mL

- (5) Larutan  $\text{MgSO}_4$

larutkan 0,225 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ke dalam 100 mL akuades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL

(6) Larutan CaCl<sub>2</sub>

Larutkan 0,275 g CaCl<sub>2</sub> ke dalam 100 mL akuades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL

(7) Larutan FeCl<sub>3</sub>

Larutkan 0,025 g FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O ke dalam 100 mL akuades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL

(8) Larutan MnCl<sub>2</sub> 20%

Larutkan 20 g MnCl<sub>2</sub> ke dalam 100 mL akuades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL

(9) Indikator amilum 1%

Larutkan 1 g amilum dengan 100 mL akuades yang sudah dididihkan dalam labu pengencer 100 mL dan tambahkan sedikit Hgl<sub>2</sub> sebagai pengawet.

(10) Larutan Thiosulfat 0,01 N

Larutkan 24,82 g Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ke dalam 1000 mL akuades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1000 mL. Kemudian ditambahkan dengan 1 g NaOH sebagai *buffer*.

(11) Pereaksi Oksigen

Campur dan larutkan 40 g NaOH, 15 g KI dan 2 g NaN<sub>3</sub> ke dalam 100 mL akuades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

(12) Larutan Pengencer

untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan *buffer* Fosfat, MgSO<sub>4</sub>, larutan CaCl<sub>2</sub>, larutan FeCl<sub>3</sub> dan larutan bakteri. Larutan bakteri dapat dibuat dengan komposisi 1 spatula (10 g) tanah subur ke dalam air selama 24 jam dan diaerasi.

(13) Asam sulfat pekat

### Prosedur

1) Mengambil sampel sesuai perhitungan berikut :

$$\text{sampel BOD (mL)} = \frac{500}{\frac{\text{COD mg/L}}{5}}$$

- 2) Mengencerkan hingga 500 mL dengan larutan pengencer, kemudian masukkan ke dalam botol Winkler 300 mL dan 150 mL
- 3) Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol Winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- 4) Tuangkan air pengencer ke dalam botol Winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- 5) Bungkus kedua botol Winkler 300 mL dengan agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol ke dalam inkubator 20° C selama 5 hari.
- 6) Kedua botol Winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarut dengan prosedur sebagai berikut:
  - a. Tambahkan 1 mL larutan MnCl<sub>2</sub>.
  - b. Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen.
  - c. Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali.
  - d. Biarkan gumpalan mengendap selama ± 10 menit.
  - e. Tambahkan 1 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, tutup dan kocok kembali.
  - f. Tuangkan 100 mL larutan ke dalam Erlenmeyer 250 mL.
  - g. Tambahkan 3 tetes indikator amilum.
  - h. Titrasi dengan larutan natrium thiosulfate 0,0125 N sampai warna biru hilang.
- 7) Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam Winkler 300 mL seperti analisis oksigen terlarut.
- 8) Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \left( \frac{mg \ O_2}{L} \right) = \frac{axNx8000}{100} mL$$

$$BOD_{520} (mg/L) = \frac{\{X_0 - x_5\} - (B_0 - B_5)}{P}$$

Dimana:

X<sub>0</sub> = oksigen terlarut sampel pada t=0

X<sub>5</sub> = oksigen terlarut sampel pada t=5

B<sub>0</sub> = oksigen terlarut blanko pada t=0

B<sub>5</sub> = oksigen terlarut blanko pada t=5



P = derajat pengenceran

a = volume titran (mL)

N = normalitas natrium thiosulfat

### 3. Pengukuran Nitrat (SNI 6989-79.2011)

#### Alat dan Bahan

- (1) Erlenmeyer 50 mL 2 buah
- (2) Spektrofotometer dan kuvet
- (3) Pipet ukur
- (4) Larutan brucin asetat

Larutkan 0,5 g serbuk brucin asetat dengan 100 mL acetic acid glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) di dalam labu pengencer 100 mL, kocok hingga larut sempurna

- (5) Larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pekat

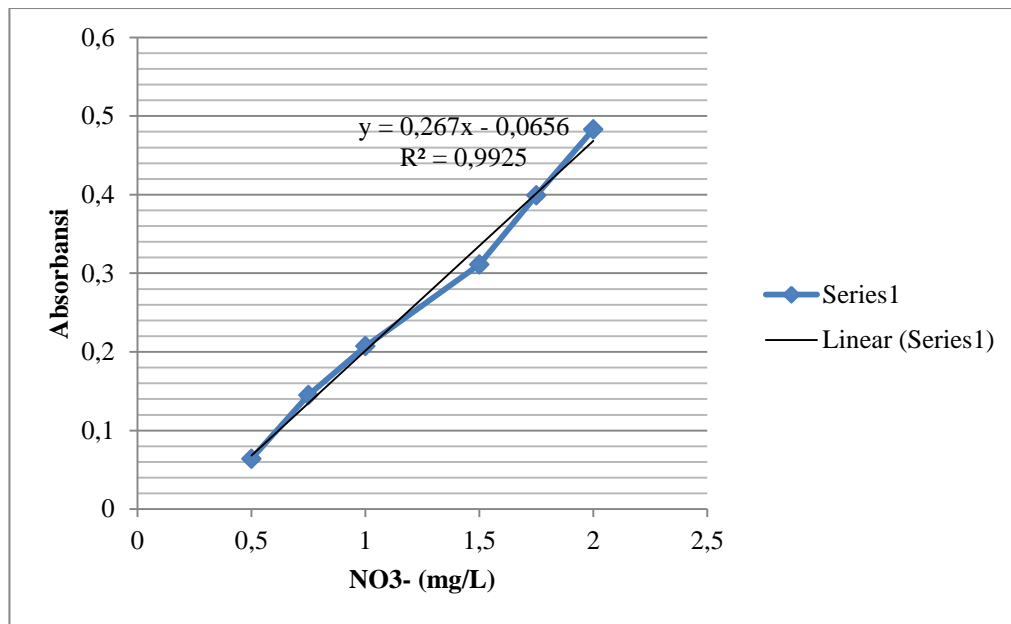
- (6) Larutan standar nitrat (100 ppm atau mg/L)

Larutkan 721,8 mg  $\text{KNO}_3$  ke dalam 1 L akuades dengan labu pengencer 1 L

#### Prosedur

- (1) Mengambil 1 mL sampel (yang telah diencerkan 100x) dan 1 mL akuades (sebagai blanko) kemudian masukkan ke masing-masing erlenmeyer 50 mL
- (2) Menambahkan 1 mL larutan Brucin Asetat
- (3) Menambahkan 2 mL Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pekat
- (4) Mengocok dan mendinginkan selama 10 menit
- (5) Melakukan pengukuran menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang optimum 540 nm
- (6) Penentuan persamaan kurva kalibrasi

$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2
Abs $\text{NO}_3^-$	0,064	0,145	0,207	0,311	0,399	0,483



(7) Menghitung nilai nitrat dengan persamaan  $Y = 0.267x - 0.0656$  dengan dikalikan faktor pengencer.

#### 4. Pengukuran nitrit (06-6989-9.2004)

##### Alat dan Bahan

- (1) Spektrofotometer
- (2) Labu ukur (50 mL, 250 mL, 500 mL, dn 1000 mL)
- (3) Pipet ukur
- (4) Beaker glass 100 mL
- (5) Erlenmeyer
- (6) Neraca analitis
- (7) Akuades bebas nitrit
- (8) Larutan sulfanilamida ( $H_2NC_6H_4SO_2NH_2$ )

Melarutkan 5 g sulfanilamida dalam campuran 300 mL akuades dan 50 mL HCl pekat. Kemudian mengencerkan dengan akuades hingga 500 mL.

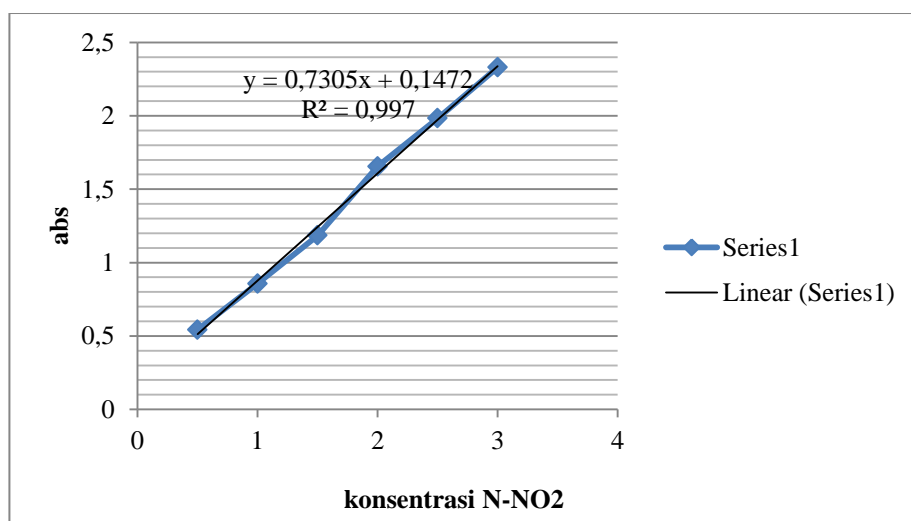
- (9) Larutan NED Dihidroklorida

Melarutkan 500 mg N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride (NED Dihidroklorida) dalam 500 mL akuades. Menyimpan di botol gelap dan dalam refrigerator. Ganti setiap bulan atau bila berwarna coklat.

## Prosedur

- (1) Memasukkan 25 mL sampel yang sudah diencerkan 100x ke dalam beaker glass
- (2) Menambahkan 0,5 mL larutan sulfanilamida, kocok dan biarkan 2 menit.
- (3) Menambahkan 0,5 mL larutan NED dihidroklorida, kocok biarkan selama 10 menit dan segera lakukan pengukuran (pengukuran tidak boleh dilakukan lebih dari 2 jam).
- (4) Mengukur absorbansi larutan dengan spektrofotometer menggunakan panjang gelombang optimum 543 nm.
- (5) Penentuan persamaan kurva kalibrasi

NO <sub>2</sub> (mg/L)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Abs NO <sub>2</sub>	0,543	0,857	1,185	1,655	1,983	2,33



- (6) Menghitung konsentrasi nilai nitrit dengan persamaan  $Y = 0,7305x + 0,1472$  dengan dikalikan faktor pengencernya

## 5. Pengukuran Ammonium (SNI 06-6989-30.2005)

### Alat dan Bahan

- (1) Spektrofotometer
- (2) Labu Erlenmeyer 100 mL

(3) Larutan garam signet

Melarutkan 50 g K.Na.Tatrat ke dalam 500 mL akuades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

(4) Larutan nessler

Mencampur dan menghaluskan 50 g serbuk HgI<sub>2</sub> dan 35 g KI kemudian dilarutkan dengan 80 g NaOH yang sudah dilarutkan dengan akuades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatnya.

(5) Larutan standar ammonium (100 ppm/ 100 mg/L)

Larutkan 382,14 mg NH<sub>4</sub>Cl ke dalam akuades 1 L dengan labu pengencer 1 L. tambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

**Prosedur**

(1) Memasukkan masing-masing 10 mL sampel ke dalam labu erlenmeyer 100 mL (sampel diencerkan 100 x)

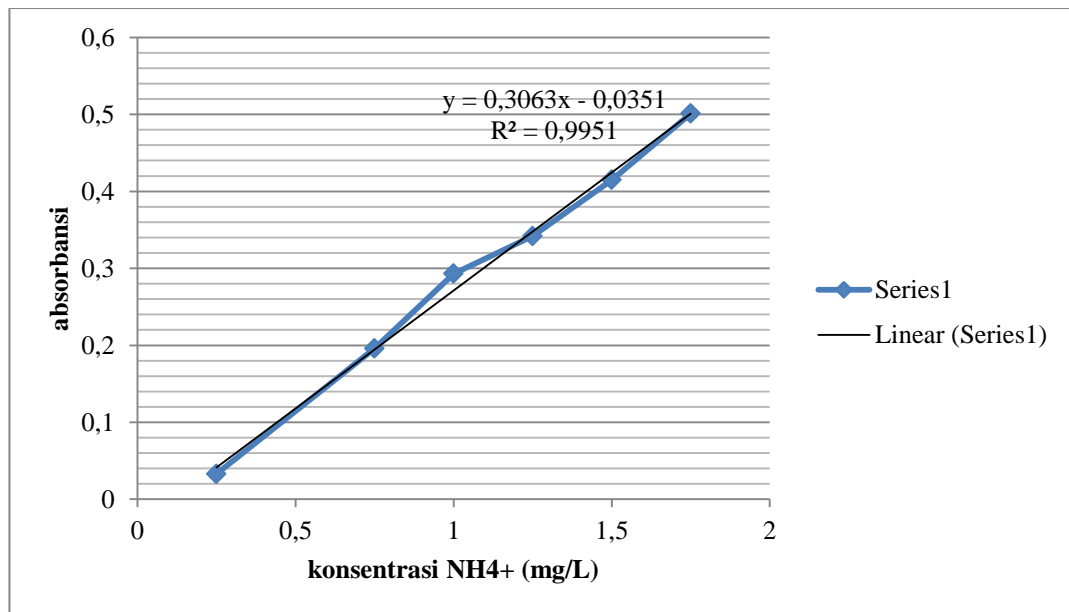
(2) Menambahkan 0,4 mL larutan nessler

(3) Menambahkan 0,5 mL larutan garam signet dan mendinginkan selama 10 menit

(4) Membaca spektrofotometer dengan panjang optimum 412 .

(5) Penentuan persamaan kurva kalibrasi

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0.25	0.75	1	1,25	1,5	1,75
abs	0,033	0,196	0,293	0,342	0,415	0,501



(6) Menghitung konsentrasi nilai nitrit dengan persamaan  $Y = 0,3063x - 0,0351$  dengan dikalikan faktor pengencer

## 6. Salinitas

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

- (1) pH diatur untuk mengukur salinitas dengan menekan enter/mode hingga pada layar muncul tulisan 'sal'. Kemudian distandardisasi menggunakan larutan *buffer* pH 7. Standarisasi dilakukan dengan mencelupkan probe pH ke dalam larutan *buffer*.
- (2) Diambil sejumlah sampel dan diletakkan ke dalam beaker glass.
- (3) Dichelupkan probe pH ke dalam sampel.
- (4) Dibaca nilai salinitas sampai pada monitor pembaca.

## 7. Pengukuran derajat keasaman (pH)

### Alat dan Bahan

- (1) PH meter
- (2) Gelas ukur
- (3) Kertas tisu

(4) 10 mL sampel

### **Prosedur**

- (1) PH meter distandardisasi menggunakan larutan *buffer* 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.
- (2) Diambil 10 mL sampel dan diletakkan pada beaker glass.
- (3) Dichelupkan probe pH meter ke dalam sampel yang diukur nilai pH nya.
- (4) Dibaca nilai pH sampel pada monitor pembaca.

## **8. Pembuatan larutan *buffer* fosfat/konsentrat**

### **Alat dan Bahan**

- (1) Dinatrium hidrogen fosfat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) 0,0133 M
- (2) Natrium dihidrogen fosfat ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) 0,0117 M
- (3) Akuades 5000 mL
- (4) Labu pengencer 500 mL

### **Prosedur**

- 1) Timbang  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  sebanyak 11,8363 g
- 2) Timbang  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  sebanyak 8,0724 g
- 3) Larutkan kedua bahan ke dalam labu pengencer dengan akuades 500 mL
- 4) Tambahkan 4500 mL akuades

## **9. Maintenance elektroda**

### **Alat dan bahan**

- (1)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat
- (2) 1-Propanol
- (3) Akuades
- (4) Cawan petri
- (5) Tissue Kimtech

**Prosedur**

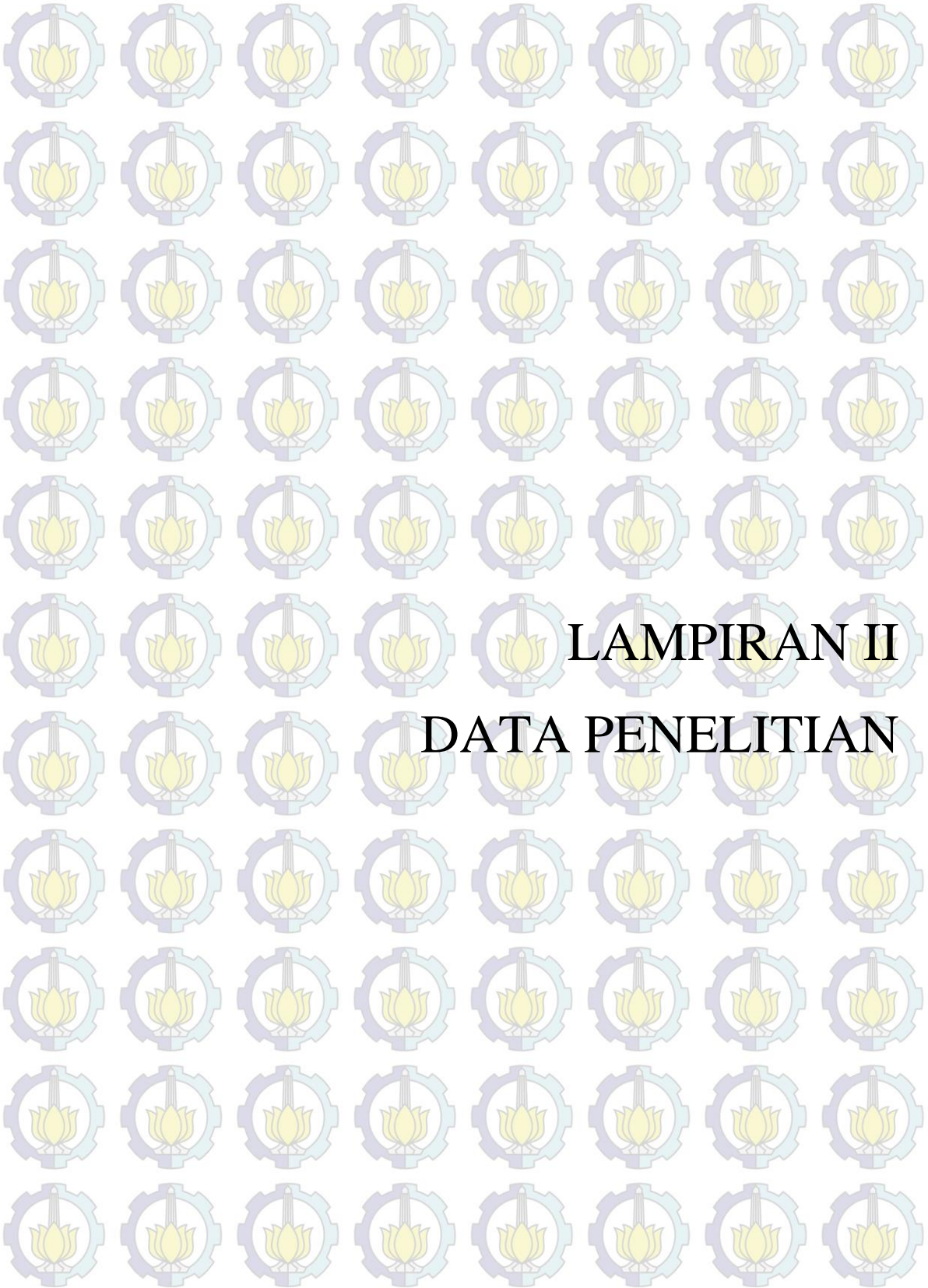
- 1) Setelah pemakaian, rendam elektroda dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat.
- 2) Bilas elektroda dengan akuades.
- 3) Rendam elektroda dengan menggunakan propanol-1 sebanyak 20 ml (pastikan permukaan tenggelam dalam larutan). Sisi aktif BDD (yang kusam) menghadap permukaan luar cawan petri.
- 4) Bilas dengan akuades dan keringkan menggunakan tisu Kimtech.

**10. Maintenance membrane CEM dan AEM****Alat dan bahan**

- (1) NaCl 5%
- (2) Akuades
- (3) Labu pengencer

**Prosedur**

- 1) Timbang NaCl sebanyak 50 g larutkan dengan akuades 500 mL di labu pengencer
- 2) Tambahkan akuades hingga batas 1 L
- 3) Rendam membrane sebelum pemakaian selama 12 jam.



LAMPIRAN II

DATA PENELITIAN



## LAMPIRAN II DATA PENELITIAN

Tabel LD 1. Polarisasi pada Anoda BDD

Waktu (menit)	Voltase (v)	Arus (mA)	TDS (mg/L)	Konduktivitas mS/cm	pH	Densitas mA/cm <sup>2</sup>
0	0,30	0	14.016	21,90	8,68	0
3	0,60	0	14.016	21,90	8,70	0
6	0,90	0	14.336	22,40	8,71	0
9	1,20	0	14.528	22,70	8,71	0
12	1,50	0	14.400	22,50	8,71	0
15	1,80	0	14.400	22,50	8,72	0
18	2,10	0	14.400	22,50	8,73	0
21	2,40	12	14.528	22,70	8,73	0,50
24	2,70	17	14.464	22,60	8,72	0,71
27	3,00	27	14.400	22,50	8,73	1,13
30	3,30	52	14.464	22,60	8,72	2,17
33	3,60	84	14.592	22,80	8,73	3,50
36	3,90	128	14.528	22,70	8,73	5,33
39	4,20	181	14.656	22,90	8,72	7,54
42	4,50	266	14.528	22,70	8,73	11,08
45	4,80	354	14.656	22,90	8,72	14,75
48	5,10	433	14.848	23,20	8,72	18,04
51	5,40	486	14.720	23,00	8,72	20,25
54	5,70	506	14.784	23,10	8,73	21,08
57	6,00	688	14.784	23,10	8,72	28,67
60	6,30	808	14.784	23,10	8,71	33,67
63	6,60	944	14.784	23,10	8,71	39,33
66	6,90	999	14.848	23,20	8,71	41,63

Tabel LD 2. Polarisasi pada Anoda Pt

Waktu (menit)	Voltase (v)	Arus (mA)	TDS (mg/L)	Konduktivitas mS/cm	pH	Densitas mA/cm <sup>2</sup>
0	0,30	0	13.824	21,60	8,62	0
3	0,60	0	14.016	21,90	8,65	0
6	0,90	0	14.016	21,90	8,65	0
9	1,20	0	14.464	22,60	8,66	0
12	1,50	0	14.528	22,70	8,66	0
15	1,80	0	14.464	22,70	8,66	0
18	2,10	12	14.464	22,60	8,66	0,5
21	2,40	24	14.464	22,60	8,66	1
24	2,70	43	14.464	22,60	8,66	1,79

Waktu (menit)	Voltase (v)	Arus (mA)	TDS (mg/L)	Konduktivitas mS/cm	pH	Densitas mA/cm <sup>2</sup>
27	3,00	77	14.656	22,90	8,66	3,21
30	3,30	114	14.528	22,80	8,66	4,75
33	3,60	155	14.592	22,70	8,66	6,46
36	3,90	219	14.592	22,80	8,66	9,13
39	4,20	355	14.592	22,80	8,65	14,79
42	4,50	378	14.528	22,70	8,65	15,75
45	4,80	427	14.528	22,70	8,64	17,79
48	5,10	499	14.336	22,40	8,61	20,79
51	5,40	598	14.208	22,20	8,63	24,92
54	5,70	686	14.464	22,60	8,65	28,58
57	6,00	794	14.528	22,70	8,64	33,08
60	6,30	897	14.528	22,70	8,63	37,38
63	6,60	999	14.464	22,60	8,61	41,63

Tabel LD 3. Ringkasan Pengukuran COD dan TDS pada Anoda BDD di jam 12

Arus mA	Jam ke	COD mg/L	COD g	COD/COD <sub>0</sub>	TDS lindi mg/L	TDS konsentrat mg/L
	0	16.400	82,40	1,00	10.762	2.445
800	12	2.937	14,68	0,18	5.463	6.669
700	12	2.890	14,45	0,18	5.585	7.130
600	12	3.608	18,03	0,22	6.328	9.978

Tabel LD 4. Ringkasan Pengukuran COD dan TDS pada Anoda Pt di jam 12

Arus mA	Jam ke	COD mg/L	COD g	COD/COD <sub>0</sub>	TDS mg/L	TDS konsentrat mg/L
	0	16.400	82,40	1	10,762	2.445
800	12	3.772	18,86	0,23	5.463	6.720
700	12	3.742	18,71	0,23	6.141	7.258
600	12	4.392	21,96	0,27	5.936	9.990

Tabel LD 5. Ringkasan Hasil Massa  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3^-$ , dan  $\text{NO}_2^-$  pada *Running* Anoda BDD selama 12 Jam

Arus mA	Jam ke	Ammonium			Nitrat			Nitrit		
		$\text{NH}_4$ mg/L	Massa g	$\text{NH}_4/\text{NH}_4\text{O}$	$\text{NO}_3$ mg/L	Massa g	$\text{NO}_3/\text{NO}_3\text{O}$	$\text{NO}_2$ mg/L	Massa g	$\text{NO}_2/\text{NO}_2\text{O}$
800	0	380	1,9	1,00	82,13	0,41	1,00	266,48	1,33	1,00
	2	329,43	1,65	0,98	86,80	0,43	1,06	261,80	1,31	0,98
	4	239,81	1,20	0,71	95,24	0,48	1,16	138,89	0,69	0,52
	6	232,14	1,16	0,69	95,69	0,48	1,17	131,80	0,66	0,49
	8	228,55	1,14	0,68	96,58	0,48	1,18	133,61	0,67	0,50
	10	207,82	1,04	0,62	97,02	0,49	1,18	109,45	0,55	0,41
700	12	146,28	0,73	0,43	100,36	0,50	1,22	90,43	0,45	0,34
600	12	132,73	0,66	0,39	100,91	0,50	1,23	85,14	0,43	0,32
600	12	202,60	1,01	0,60	127,29	0,64	1,55	81,22	0,41	0,30

Tabel LD 6. Ringkasan Hasil Massa  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3^-$ , dan  $\text{NO}_2^-$  pada *Running* Anoda Pt selama 12 Jam

Arus mA	Jam ke	Ammonium			Nitrat			Nitrit		
		$\text{NH}_4$ mg/L	Massa g	$\text{NH}_4/\text{NH}_4\text{O}$	$\text{NO}_3$ mg/L	Massa g	$\text{NO}_3/\text{NO}_3\text{O}$	$\text{NO}_2$ mg/L	Massa g	$\text{NO}_2/\text{NO}_2\text{O}$
800	0	380	1,9	1,00	82,13	0,41	1,00	133,61	0,67	1,00
	2	331,88	1,66	0,99	85,47	0,43	1,04	104,47	0,52	0,39
	4	275,73	1,38	0,82	92,80	0,46	1,13	81,37	0,41	0,31
	6	259,89	1,30	0,77	97,02	0,49	1,18	57,06	0,29	0,21
	8	247,49	1,24	0,74	99,91	0,50	1,22	50,72	0,25	0,19
	10	221,86	1,11	0,66	100,13	0,50	1,22	48,60	0,24	0,18
700	12	157,60	0,79	0,47	127,29	0,64	1,55	32,95	0,16	0,12
	12	286,01	1,43	0,85	110,50	0,55	1,35	46,92	0,23	0,18
600	12	264,46	1,32	0,79	113,23	0,57	1,38	26,24	0,13	0,10

Tabel LD 7. Hasil Pengukuran Lindi pada Anoda BDD arus 800 mA

Sampel ke	pH	TDS	Salinitas	Konduktivitas	COD	Nitrat	Nitrit	Ammonium
Satuan		ppm	psu	mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	8,80	10.163	12,12	15,88	16.400	77,64	133,20	390,8
1	N/A	5.939	5,18	9,28	N/A	N/A	27,15	N/A
2	N/A	5.766	5,02	9,01	N/A	N/A	27,30	N/A
3	N/A	5.504	5,01	8,60	N/A	N/A	27,93	N/A

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>COD</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
4	7,81	5.248	5,11	8,20	2.924,05	102,35	27,93	163,58
5	7,83	5.254	5,37	8,21	2.898,73	98,78	27,37	132,40
6	7,81	5.798	5,65	9,06	2.848,10	101,61	27,79	146,28
AVERAGE	7,82	5.585	5,22	8,73	2.890,30	100,91	27,69	147,42

Tabel LD 8. Hasil Pengukuran Lindi pada Anoda BDD arus 700 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>COD</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	8,80	10.163	12,12	15,88	16.400	77,64	133,20	390,8
1	N/A	5.792	5,05	9,05	N/A	N/A	N/A	N/A
2	N/A	6.035	5,28	9,43	N/A	N/A	N/A	N/A
3	N/A	6.348	5,63	9,92	N/A	N/A	N/A	N/A
4	7,89	6.195	5,43	9,68	3.291,14	109,06	27,30	130,12
5	7,68	6.323	5,55	9,88	3.240,51	110,10	27,51	130,77
6	7,70	6.150	5,67	9,61	3.265,82	109,81	27,51	137,30
AVERAGE	7,76	6.223	5,55	9,72	3.265,82	109,66	27,44	132,73

Tabel LD 9. Hasil Pengukuran Lindi pada Anoda BDD arus 600 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>konduktivitas</b>	<b>COD</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	8,8	10.163	12,12	15,88	16.400	77,64	133,2	390,8
1	N/A	6.656	4,99	10,4	N/A	N/A	N/A	N/A
2	N/A	6.387	5,82	9,98	N/A	N/A	N/A	N/A
3	N/A	6.617	5,14	10,34	N/A	N/A	N/A	N/A
4	7,85	5.888	4,08	9,2	3.608	N/A	N/A	N/A
5	8,1	6.035	5,6	9,43	N/A	N/A	N/A	N/A
6	8,05	6.387	5,86	9,98	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>AVERAGE</b>	8	6.103	5,18	9,54	3.608	N/A	N/A	N/A

Tabel LD 10. Hasil Pengukuran Lindi pada Anoda Pt arus 800 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>COD</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	8,80	10.163,00	12,12	15,88	16.400,00	77,64	133,20	390,8
1	N/A	5.273	4,99	8,24	3.772,15	N/A	39,45	N/A
2	N/A	5.689	4,94	8,89	N/A	N/A	60,22	N/A
3	N/A	5.561	4,76	8,69	N/A	N/A	46,84	N/A

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>COD</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
4	7,68	5.414	4,94	8,46	3.772,15	126,05	85,01	286,01
5	7,66	5.305	4,27	8,29	3.658,23	129,33	78,60	264,46
6	7,65	5.555	4,36	8,68	3.797,47	126,50	0,00	0,00
<b>AVERAGE</b>	7,66	5.466	4,71	8,54	3.742,62	127,29	54,54	183,49

Tabel LD 11. Hasil Pengukuran Lindi pada Anoda Pt arus 700 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>COD</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	8,80	10.163,00	12,12	15,88	16.400,00	77,64	133,20	390,8
1	N/A	6.348	5,57	9,92	N/A	N/A	N/A	N/A
2	N/A	6.598	5,81	10,31	N/A	N/A	N/A	N/A
3	N/A	6.982	6,17	10,91	N/A	N/A	N/A	N/A
4	7,83	6.969	6,16	10,89	4.063,29	113,08	45,89	273,11
5	7,79	6.515	5,73	10,18	4.215,19	113,53	50,25	290,91
6	7,74	6.572	5,86	10,27	4.025,32	110,50	44,62	294,01
<b>AVERAGE</b>	7,79	6.664	5,88	10,41	4.101,27	112,37	46,92	286,01

Tabel LD 12. Hasil Pengukuran Lindi pada Anoda Pt arus 600 mA

Sampel ke	pH	TDS	Salinitas	Konduktivitas	COD	Nitrat	Nitrit	Ammonium
Satuan		ppm	psu	mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	8,80	10.163,00	12,12	15,88	16.400,00	77,64	133,20	390,8
1	-	6.214	5,44	9,71	N/A	N/A	N/A	N/A
2	-	6.214	5,44	9,71	N/A	N/A	N/A	N/A
3	-	6.412	5,63	10,02	N/A	N/A	N/A	N/A
4	8,65	5.446	4,72	8,51	N/A	N/A	N/A	N/A
5	8,27	5.574	4,84	8,71	4.455,70	112,34	26,24	269,03
6	8,16	5.753	5,61	8,99	4.329,11	114,13	26,24	259,89
AVERAGE	8,36	5.936	5,28	9,28	4.392,41	113,23	26,24	264,46

Tabel LD 13. Hasil Pengukuran Konsentrat pada Anoda BDD Arus 800 mA

Sampel ke	pH	TDS	Salinitas	Konduktivitas	Nitrat	Nitrit	Ammonium
Satuan		ppm	psu	mS/cm	mg/L	mg/L	mg/L
0	6,86	2.419	5	3,78	82,13	133,61	336
1	6,34	376	3,41	6,28	N/A	N/A	29,32
2	N/A	379	3,11	6,33	N/A	N/A	29,19
3	N/A	391	3,5	6,52	N/A	N/A	29,52
4	N/A	389	3,26	6,49	N/A	N/A	29,45



<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
5	N/A	370	3,19	6,18	N/A	N/A	29,78
6	N/A	378	3,17	6,3	N/A	N/A	30,04
AVERAGE	6,34	380,5	3,27	6,35	N/A	N/A	29,55

Tabel LD 14. Hasil Pengukuran Konsentrat pada Anoda BDD Arus 700 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	6,86	2419	5	3,78	82,13	133,61	336
1	5,66	315	2,88	5,52	59,45	72,83	15,16
2	6,32	324	2,98	5,555	55,18	37,74	13,46
3	6,18	394	2,51	4,7	87,31	69,90	13,33
4	6,34	325	4,44	8,04	66,26	41,96	12,80
5	6,3	309	3,58	6,56	65,96	75,85	12,67
6	6,32	331	2,84	5,29	66,34	40,44	13,26
AVERAGE	6,19	333	3,21	5,94	66,75	56,45	13,45

Tabel LD 15. Hasil Pengukuran Konsentrat pada Anoda BDD Arus 600 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	6,86	2.419	5	3,78	82,13	133,61	336
1	6,34	403	2,51	4,70	N/A	N/A	N/A
2	N/A	235	4,44	8,04	N/A	N/A	N/A
3	N/A	402	3,58	6,56	N/A	N/A	N/A
4	N/A	328	2,84	5,29	N/A	N/A	N/A
5	N/A	365	4,23	7,69	N/A	N/A	N/A
6	N/A	384	4,01	8,05	N/A	N/A	N/A
<b>AVERAGE</b>	6,34	353	3,60	6,72	N/A	N/A	N/A

Tabel LD 16. Hasil Pengukuran Konsentrat pada Anoda Pt Arus 800 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	7,03	2.445	5	3,82	82,13	133,61	336
1	N/A	253	3,13	4,22	N/A	N/A	N/A
2	N/A	407	3,71	6,79	N/A	N/A	N/A
3	N/A	439	2,92	7,32	N/A	N/A	N/A
4	6,33	247	2,18	4,12	N/A	N/A	N/A

<b>Sampel ke</b>	<b>Ph</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
5	N/A	381	3,83	6,35	N/A	N/A	N/A
6	N/A	368	3,13	6,14	N/A	N/A	N/A
<b>AVERAGE</b>	6,33	349,16	3,15	5,82	N/A	N/A	N/A

abel LD 17. Hasil Pengukuran Konsentrat pada Anoda Pt Arus 700 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	7,03	2.445	5	3,82	82,13	133,61	336
1	6,19	232	1,6	3,87	57,80	83,62	28,15
2	N/A	225	1,97	3,75	58,70	85,17	25,60
3	N/A	319	2,86	5,32	58,55	83,20	23,38
4	N/A	334	3	5,56	58,92	86,35	25,47
5	N/A	341	2,94	5,69	58,92	82,92	25,99
6	N/A	280	2,66	4,68	58,17	83,40	25,74
<b>AVERAGE</b>	6,19	318,4	2,51	4,81	58,51	84,11	25,72

Tabel LD 18. Hasil Pengukuran Konsentrat pada Anoda Pt Arus 600 mA

<b>Sampel ke</b>	<b>pH</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinitas</b>	<b>Konduktivitas</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Nitrit</b>	<b>Ammonium</b>
<b>Satuan</b>		<b>ppm</b>	<b>psu</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0	7,03	2.445	5	3,82	82,13	133,61	336
1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>AVERAGE</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN III  
PERHITUNGAN

## LAMPIRAN III PERHITUNGAN

### III.1 Perhitungan Limiting Current

$$I_{lim} (t) = 4 \text{ AF.Km.COD.}(t) \quad (2.1)$$

Limiting current dihitung menggunakan data penentuan waktu detensi pada jam ke 12 masing-masing anoda. Berikut perhitungan pada anoda BDD dan platina.

BDD

$$\begin{aligned} A \text{ (cm}^2\text{)} &= 24 \\ &\text{(m}^2\text{)} \quad 0,0024 \\ F \text{ (C/mol)} &= 96.500 \\ km \text{ (m/S)} &= 0,00003 \\ COD_t \text{ (mg/L)} &= 2.937 \\ I_{lim} \text{ (mA)} &= 4 \times 0,0024 \times 0,00003 \times 2.937 \\ &81,61701 \end{aligned}$$

Pt

$$\begin{aligned} A \text{ (cm}^2\text{)} &= 24 \\ &\text{(m}^2\text{)} \quad 0,0024 \\ F \text{ (C/mol)} &= 96.500 \\ km \text{ (m/S)} &= 0,00003 \\ COD_t \text{ (mg/L)} &= 3.772 \\ &= 4 \times 0,0024 \times 0,00003 \times 3.772 \\ I_{lim} \text{ (mA)} &= 104,8356 \end{aligned}$$

### III.2 Perhitungan Kebutuhan Energi

Kebutuhan energi dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$SEC \text{ (kWh/m}^3\text{)} = \frac{U \times i \times t}{10^3 \times V} \quad (3.2)$$

$$SEC \text{ (kWh/kg COD)} = \frac{U \times i \times t}{10^3 \times V \times (COD_0 - COD_t)} \quad (3.3)$$

$$U = 10,56 \text{ V}$$

$$t = 12 \text{ jam}$$

$$i = 800 \text{ mA}$$

$$= 0,8 \text{ A}$$

$$Vol = 4,95 \text{ L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SEC} &= \frac{U x i x t}{10^3 x V} \\
 &= \frac{10,56 \text{ V} x 0,8 \text{ A} x 12 \text{ jam}}{10^3 x 4,95 \text{ L}} \\
 &= 0,5 \text{ kWh/m}^3
 \end{aligned}$$

$$U = 10,56 \text{ V}$$

$$t = 12 \text{ jam}$$

$$i = 800 \text{ mA}$$

$$= 0,8 \text{ A}$$

$$\text{COD}_0 - \text{COD}_t = 16.400 \text{ mg/L} - 2.890 \text{ mg/L}$$

$$= 13.509 \text{ mg/L}$$

$$= 13,509 \text{ g/L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SEC} &= \frac{U x i x t}{10^3 x V x (\text{COD}_0 - \text{COD}_t)} \\
 &= \frac{10,56 x 0,8 x 12}{10^3 x 4,95 \text{ L} x 13,509 \text{ mg/L}} \\
 &= 68 \text{ kWh/ g COD}
 \end{aligned}$$

### III.3 Perhitungan Biaya Operasional

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya operasional} &= \text{SEC} x \text{ biaya satuan} x \text{ beban loading} \\
 &= 67,84 \text{ kWh/g COD} x \text{ Rp } 1.047 \text{ kWh}^{-1} x 2 \text{ g.L/h} \\
 &= \text{Rp } 129.422
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya operasional} &= \text{SEC} x \text{ biaya satuan} x \text{ beban loading} \\
 &= 502 \text{ kWh/L} x \text{ Rp } 1.047 \text{ kWh}^{-1} x 2 \text{ g.L/h} \\
 &= \text{Rp } 957.993
 \end{aligned}$$

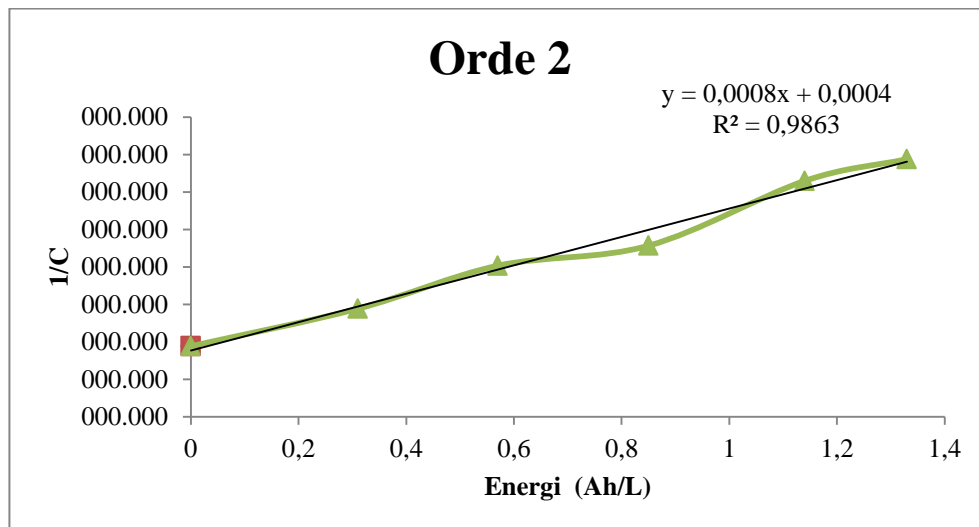


### III.4 Perhitungan Efluen Klorin

Indira (2017) menyebutkan karakteristik lindi TPA Ngipik memiliki karakteristik klorin sebesar 2.650 mg/L. Pengolahan klorin dengan metode elektrodialisis menggunakan membran CMI 7000 dan AMI 7000 menghasilkan data sebagai berikut.

Energi Ah/L	Lindi				Konsentrat			
	g	mg/L	ln C	1/C	g	mg/L	ln C	1/C
0	5,3	2650	7,882	0,0003	-	-	0	0
0,31	3,29	1732	7,457	0,0005	1,61	805	6,690	0,0012
0,57	2,23	1239	7,122	0,0008	1,9	950	6,856	0,0010
0,85	1,86	1094	6,998	0,0009	2,27	1135	7,034	0,0008
1,14	1,27	794	6,677	0,0012	2,62	1310	7,177	0,0007
1,33	1,09	727	6,588	0,0013	2,75	1375	7,226	0,0007

Dari persamaan diatas dapat ditentukan orde reaksi dari penguraian klorin berada pada orde 2 (ditandai dengan nilai regresi yang mendekati 1).



Menggunakan persamaan dasar steady state sehingga efluen klorin dapat ditentukan sebesar 513 mg/L.

$$Y = ax + b$$

$$C1 = \frac{c0}{1 + K\theta}$$

$$Y = 0,0008x + 0,0004$$

$$= 0,0008 \cdot 1,92 + 0,0004$$

$$= 0,00194 = 513 \text{ mg/L}$$



LAMPIRAN IV  
DOKUMENTASI PENELITIAN

## LAMPIRAN IV DOKUMENTASI PENELITIAN



Samplng lindi di TPA Blandongan



Samplng lumpur di IPLT Surabaya



Perendaman membran AEM dan CEM menggunakan NaCl 5%



Analisa ammonium



Analisa nitrit



Analisa nitrat

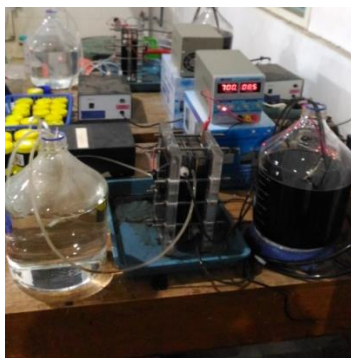




Spektrofotometri Geneys 30 untuk analisis amoniam, nitrit, nitrat dan fosfat



Lutron YK 2005 untuk analisis pH, DO, dan konduktifitas



Rangkaian reaktor elektrokimia (Pt)



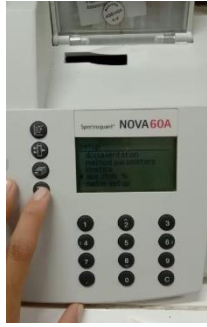
Rangkaian reaktor elektrokimia (BDD)



Rangkaian reaktor MBBR (di Workshop)



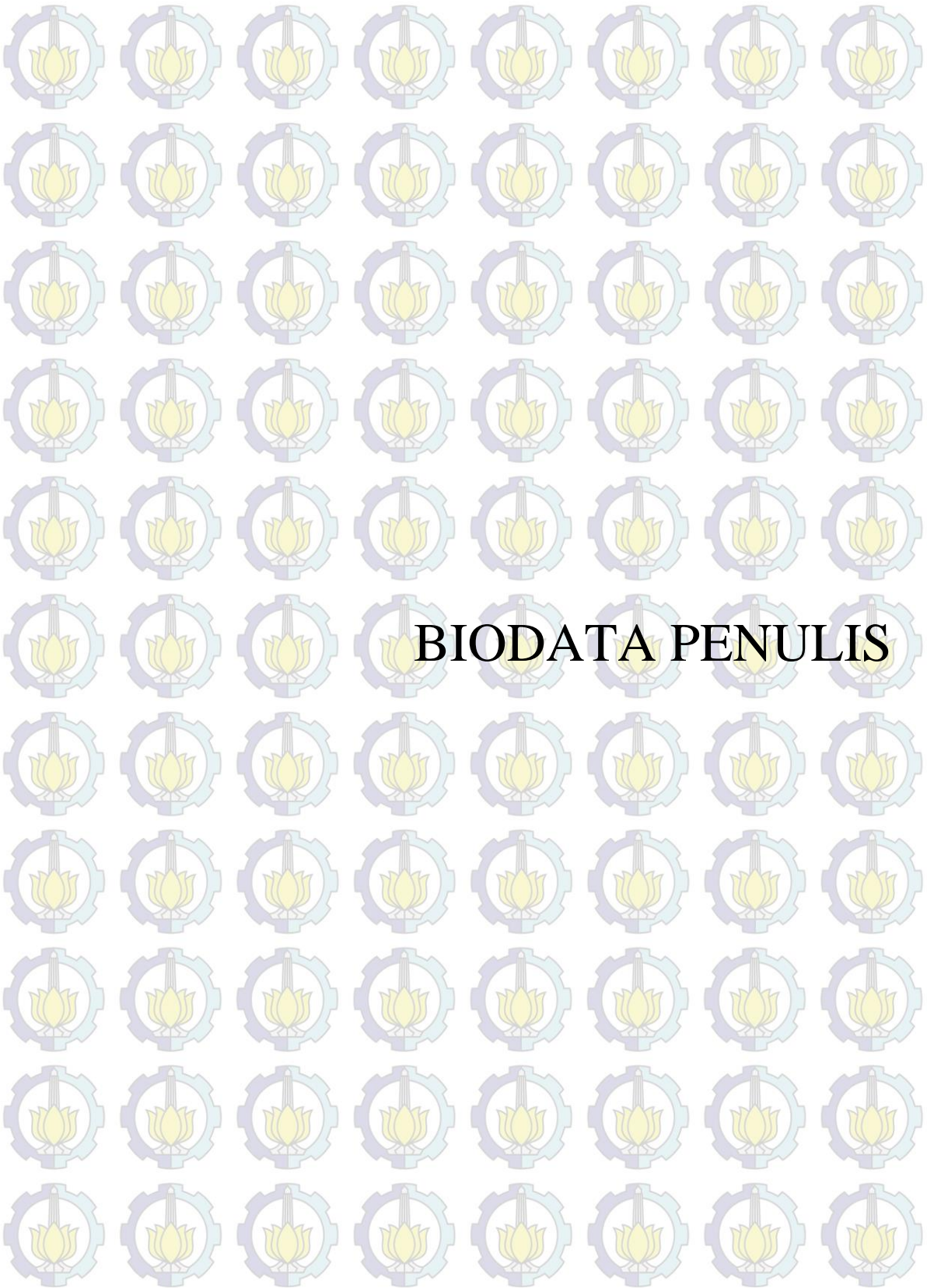
Rangkaian reaktor MBBR (di Rumah)



Spektroquant Nova-60 A untuk analisa COD



Analisa fosfat



# BIODATA PENULIS



### **BIODATA PENULIS**

Penulis akrab dipanggil Badd-Badriya lahir di Surabaya tanggal 24 Juni. Penulis menempuh pendidikan formal di MA Amanatul Ummah (2008-2011) dan S1 Jurusan Teknik Lingkungan ITS (2011-2016). Pada tahun 2014 penulis berkesempatan mengikuti PIMNAS 27 di Universitas Diponegoro dengan judul PKM GT “Surabaya Underground Aqua Project” Konsep Pengelolaan Air Minum, Air Limbah dan Air Hujan Perkotaan di bawah Tanah sebagai Solusi Permasalahan Air di Kota Besar. Tahun 2015 mengikuti LKTI di konferensi ICAST 1<sup>st</sup> di Universitas Gajah Mada dengan judul “Thorium as Sustainable Green Energy from tin waste industry in Bangka Belitung”. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir pada tahun 2016 berjudul “Evaluasi Pengendalian Banjir Kota Surabaya di Rayon Wiyung pada *Catchment Area* yang Dilayani Rumah Pompa Gunung Sari II”. Penulis aktif di komunitas Forum Lingkar Pena (FLP) cabang Surabaya dan dapat dihubungi melalui surel [Badriyah.18032@mhs.its.ac.id](mailto:Badriyah.18032@mhs.its.ac.id).