

**PEMANFAATAN *FLY ASH* BATUBARA SEBAGAI
ADSORBEN PADA PENYERAPAN POLUTAN DI
PENGOLAHAN AIR LINDI TPA BLANG BINTANG ACEH
BESAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

DONA AMBIA

NIM. 160702031

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2021 M / 1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PEMANFAATAN FLY ASH BATUBARA SEBAGAI ADSORBEN
TERHADAP PENYERAPAN POLUTAN DI PENGOLAHAN AIR LINDI
TPA BLANG BINTANG ACEH BESAR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan**

Oleh

**DONA AMBIA
NIM. 160702031**

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**

Disetujui oleh

Pembimbing I,



Dr. Irhamni, S.T.,M.T.,IPM
NIDN. 0102107101

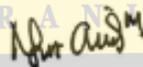
Pembimbing II,



Ir. Yeggi Darnas, S.T.,M.T
NIDN. 2022067905

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan

A R - R A N I R Y



Dr. Eng. Nur Aida, M. Si
NIDN. 2016067801

LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN FLY ASH BATUBARA SEBAGAI ADSORBEN
TERHADAP PENYERAPAN POLUTAN DI PENGOLAHAN AIR LINDI
TPA BLANG BINTANG ACEH BESAR

TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Uin Ar-Raniry Dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin, 10 Januari 2022
08 Jumadil Akhir 1443 H

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua,



Dr. Irhamni, S.T., M.T., IPM
NIDN. 0102107101

Sekretaris,



Ir. Yeggi Darnas, S.T., M.T
NIDN. 2022067905

Penguji I,



Dr. Ir. Elvitriana, M. Eng.
NIDN. 0129076601

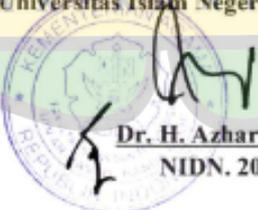
Penguji II,



Vera Vieng, M.T
NIDN. 0123067802

Mengetahui:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. H. Azhar Amsal, M.Pd
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN

Nama : Dona Ambia
NIM : 160702031
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Pada Penyerapan Polutan Di Pengolahan Air Lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 09 Desember 2021
Yang membuat pernyataan,

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

Dona Ambia
NIM. 160702031

LEMBAR PERNYATAAN

Nama : Dona Ambia
NIM : 160702031
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Pemanfaatan Fly Ash Batubara Sebagai Adsorben Pada Penyerapan Polutan Di Pengolahan Air Lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 09 Desember 2021
Yang membuat pernyataan,



Dona Ambia
NIM. 160702031

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

ABSTRAK

Nama : Dona Ambia
NIM : 160702031
Program Studi : Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
Judul : Pemanfaatan *Fly Ash* Batubara Sebagai Adsorben
Pada Penyerapan Polutan Di Pengolahan Air Lindi
TPA Blang Bintang Aceh Besar
Tanggal Sidang : -
Tebal Tugas Akhir : 91 lembar
Pembimbing I : Dr. Irhamni, S.T.,M.T.,IPM
Pembimbing II : Ir. Yeggi Darnas, S.T.,M.T
Kata Kunci : Air Lindi, *Fly Ash*, Adsorpsi

Proses penimbunan sampah secara terus-menerus di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Blang Bintang, Aceh Besar menghasilkan pencemar berupa air lindi (*leachate*). Kadar pencemar yang terkandung dalam air lindi terutama kadar logam dapat dilakukan pengolahan dengan pemanfaatan *fly ash* batubara sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kemampuan adsorben dalam menyerap polutan pada air lindi berupa BOD, COD, Fe, Mn dan Zn. Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* batubara yang telah di ayak dengan ukuran 100 mesh dan telah diaktivasi menggunakan larutan asam sulfat. Adsorben yang diperoleh diuji efektivitas adsorpsinya pada penyerapan BOD, COD, Fe, Mn dan Zn dengan variasi massa (35 gr, 50 gr, 65 gr, 80 gr, dan 100 gr) dan kecepatan pengadukan 300 rpm dengan waktu kontak 60 menit. Konsentrasi awal BOD, COD, Fe, Mn dan Zn adalah 162 mg/L, 1.405 mg/L, 6,8 mg/L, 2,1 mg/L, dan 5,03 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran adsorben, dan variasi massa mempengaruhi efektivitas adsorpsi. Pada massa optimum 100 gr/L memiliki efektivitas Mn sebesar 98,09%, Zn sebesar 97,41%, Fe 97,20%, BOD 78,39% dan COD 14,80%. Hasil pengujian keempat parameter yaitu BOD, Fe, Mn dan Zn sudah sesuai dengan standar baku mutu air lindi, sedangkan pengujian untuk parameter COD belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah SWT, Dia-lah yang telah menganugerahkan Al-Qur'an sebagai petunjuk bagi seluruh umat manusia dan Rahmatan lil'alamin (Rahmat bagi segenap alam). Segala ilmu berasal dari-Nya yang Maha Mengetahui sehingga akhirnya dengan pertolongan dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PEMANFAATAN FLY ASH BATUBARA SEBAGAI ADSORBEN PADA PENYERAPAN POLUTAN DI PENGOLAHAN AIR LINDI TPA BLANG BINTANG ACEH BESAR”**. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada pangkuan Nabi Besar Muhammad SAW utusan dan manusia pilihan, dialah penyampai pengamal dan penafsir pertama Al-Qur'an.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayahanda Darni Arsyad Rief dan Ibunda Suryani sebagai orang tua dan saudara saya yang telah memberikan dukungan serta doanya selama ini.
2. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M, Si selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Ibu Husnawati Yahya, S.Si.,M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, yang telah memberikan nasehat dan arahan dan juga sebagai koordinator Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Irhamni, ST.,MT selaku dosen pembimbing I tugas akhir Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
5. Ibu Ir.Yeggi Darnas, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing II tugas akhir Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
6. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan membagi ilmunya selama kuliah kepada penulis.
7. Ibu Idariani yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.

8. Ibu Nurul Huda S.Pd, yang sudah banyak membantu dalam proses penelitian dan administrasi.
9. Seluruh teman seperjuangan angkatan 2016 yang telah membantu dan memberikan motivasi dalam proses pembuatan laporan.
10. Dan semua pihak yang telah rela membantu dalam proses pembuatan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun tetap penulis harapkan untuk lebih menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Banda Aceh, Juni 2021
Penulis,

Dona Ambia

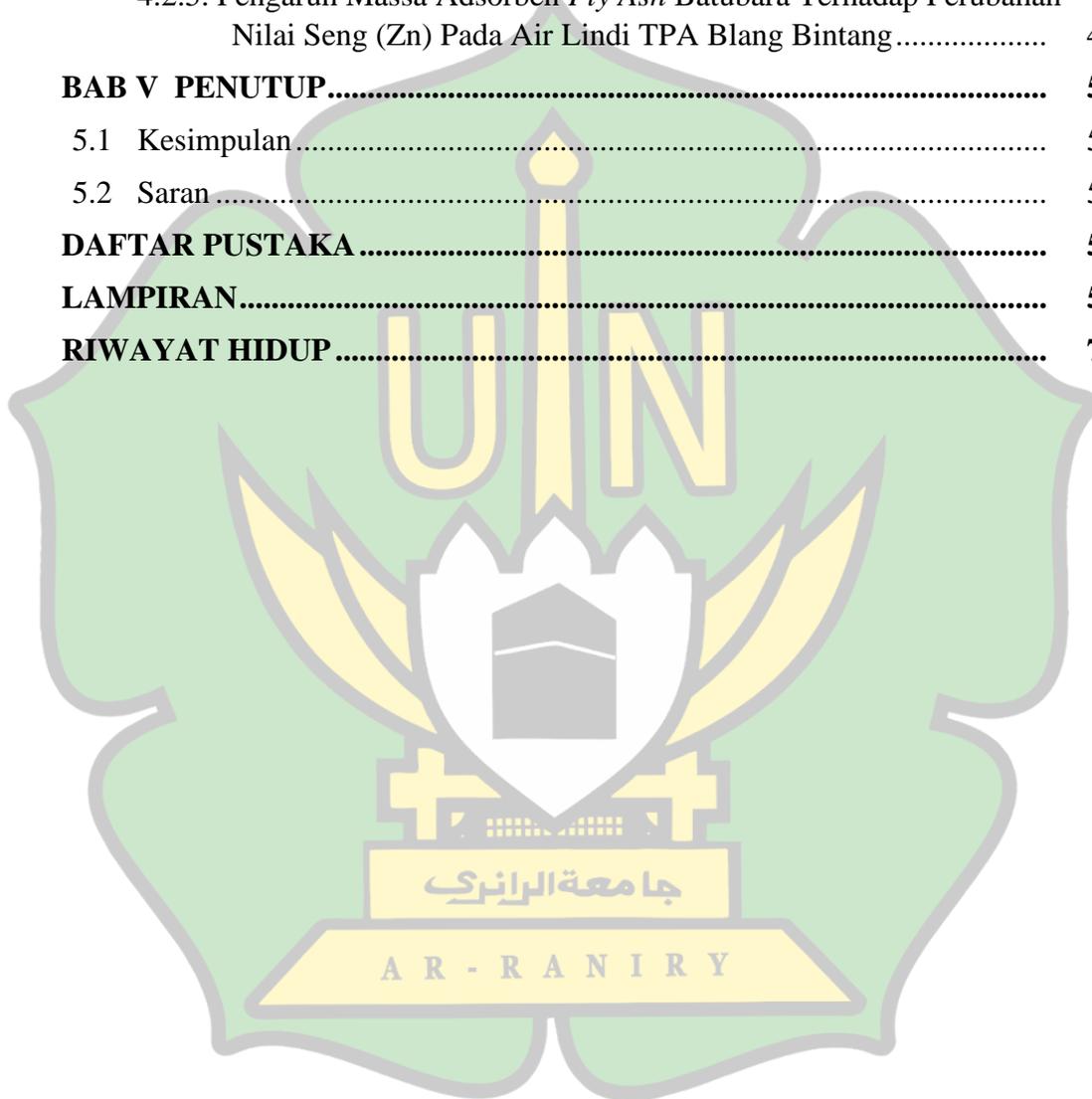


DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah	5
2.2 Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	5
2.2.1 Pengertian Umum Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	5
2.2.2 Perembesan Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	6
2.2.3 Karakteristik Air Lindi (<i>Leachate</i>)	7
2.2.4 Parameter Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	9
2.3 Baku Mutu Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	10
2.4 Instalasi Pengolahan Air Lindi (<i>Leachate</i>) IPAL	11
2.5 Dampak Buruk Air Lindi (<i>Leachate</i>) Bagi Air Tanah.....	14
2.6 <i>Fly Ash</i> Batubara.....	15
2.6.1 Kandungan <i>Fly Ash</i> Batubara	16
2.6.2 Karakteristik <i>Fly Ash</i> Batubara.....	17
2.6.3 Pemanfaatan <i>Fly Ash</i> Batubara	20

2.7. Aktivasi Fly Ash Batubara	21
2.8. Adsorpsi.....	21
2.8.1. Mekanisme Adsorpsi	22
2.8.2. Klasifikasi Adsorpsi.....	23
2.8.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Tahapan Umum	25
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.3. Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel	27
3.4. Pembuatan dan Aktivasi Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara.....	29
3.4.1. Alat.....	29
3.4.2. Bahan	29
3.4.3. Cara Kerja	29
3.5. Proses Adsorpsi Polutan Terhadap Air Lindi Dengan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara.....	30
3.5.1. Alat.....	30
3.5.2. Bahan	30
3.5.3. Cara Kerja.....	31
3.6. Analisa Laboratorium	31
3.6.1. Pengujian BOD.....	31
3.6.2. Pengujian COD.....	31
3.6.3. Pemeriksaan Fe	32
3.6.4. Pemeriksaan Mn	33
3.6.5. Pemeriksaan Zn.....	33
3.7. Analisis Data.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Hasil Umum.....	36
4.1.1. Hasil Uji Parameter Awal Air Lindi TPA Blang Bintang	36
4.1.2. Hasil Uji Pengolahan Air Lindi Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Setelah Pengaktifan	37
4.2. Pembahasan	38
4.2.1. Pengaruh Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Biological Oxygen Demand (BOD) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang	38

4.2.2. Pengaruh Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang	41
4.2.3. Pengaruh Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Besi (Fe) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang	44
4.2.4. Pengaruh Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Mangan (Mn) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang.....	47
4.2.5. Pengaruh Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Seng (Zn) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang.....	49
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	59
RIWAYAT HIDUP	78



DAFTAR GAMBAR

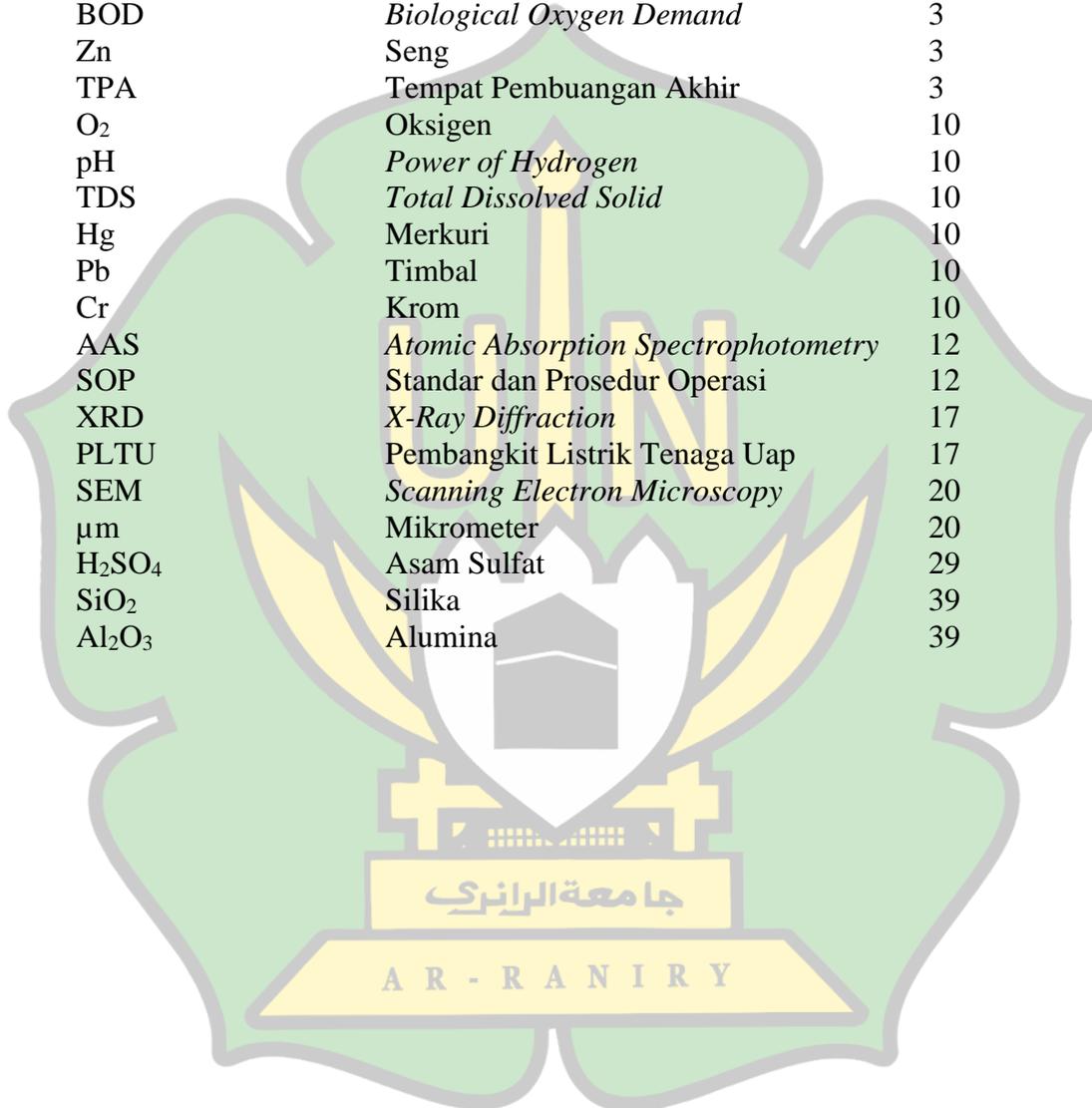
Gambar 2.1 Ilustrasi Pengolahan pada Kolam Anaerobik	12
Gambar 2.2 Ilustrasi pada Kolam	12
Gambar 2.3 Ilustrasi Pengolahan Kolam Aerasi	13
Gambar 2.4 Perjalanan Logam Berat Dari Sumber Pencemar Sampai Ke Tubuh Manusia	15
Gambar 2.5 Pola XRD fly ash (α Q-quartz, H-hematite, M-mullite)	19
Gambar 2.6 Scanning Electron Micrograph fly ash.....	19
Gambar 2.7 Ilustrasi Mekanisme Adsorpsi Pada Satu Butir Padatan Adsorben.....	22
Gambar 3. 1 Tahapan Umum Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 (a) Kondisi Air Lindi (b) Pengambilan Sampel	27
Gambar 3. 3 Informasi Peta Lokasi Titik Pengambilan Sampel.....	28
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai BOD	39
Gambar 4. 2 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan BOD	41
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai COD	42
Gambar 4. 4 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan COD	44
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Fe.....	45
Gambar 4. 6 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan Fe	46
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Mn.....	47
Gambar 4. 8 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan Mn.....	48
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Massa Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara Terhadap Perubahan Nilai Zn	50
Gambar 4. 10 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan Zn.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Air Lindi (<i>Leachate</i>)	7
Tabel 2.2 Baku Mutu Air Lindi (<i>Leachate</i>)	10
Tabel 2.3 Hasil Uji Pendahuluan Air Lindi Outlet TPA Blang Bintang.....	11
Tabel 2.4 Hasil Pengujian XRD Contoh Abu Batubara.....	16
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Mayor Dalam Abu Batubara.....	17
Tabel 2.6 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i>	18
Tabel 3.1 Bahan yang digunakan dalam pembuatan dan pengaktifan adsorben <i>fly ash</i> batubara	29
Tabel 3.2 Bahan yang digunakan pada proses adsorpsi polutan dari <i>fly ash</i> batubara.....	30
Tabel 4. 1 Hasil Uji Pendahuluan Air Lindi di <i>Outlet</i> TPA Blang Bintang	36
Tabel 4. 2 Hasil Penyerapan Polutan dengan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara	37
Tabel 4. 3 Hasil Uji Parameter BOD Setelah Perlakuan dengan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara	39
Tabel 4. 4 Hasil Uji Parameter COD Setelah Perlakuan dengan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara	42
Tabel 4. 5 Hasil Uji Parameter Fe Setelah Perlakuan dengan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara	45
Tabel 4. 6 Hasil Uji Parameter Mn Setelah Perlakuan dengan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara	47
Tabel 4. 7 Hasil Uji Parameter Zn Setelah Perlakuan dengan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batubara	50

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan/Lambang	Kepanjangan/Makna	Halaman
B3	Bahan Berbahaya dan Beracun	1
Cd	Kadmium	2
Fe	Besi	2
Mn	Mangan	2
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	2
Cu	Tembaga	2
BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>	3
Zn	Seng	3
TPA	Tempat Pembuangan Akhir	3
O ₂	Oksigen	10
pH	<i>Power of Hydrogen</i>	10
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>	10
Hg	Merkuri	10
Pb	Timbal	10
Cr	Krom	10
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>	12
SOP	Standar dan Prosedur Operasi	12
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>	17
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap	17
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>	20
μm	Mikrometer	20
H ₂ SO ₄	Asam Sulfat	29
SiO ₂	Silika	39
Al ₂ O ₃	Alumina	39



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemerintahan Aceh Besar meliputi wilayah seluas 2.903 km² yang meliputi 23 kecamatan dengan jumlah 604 desa yang tersebar dan kepadatan penduduk 425.216 jiwa/km² (BPS Kabupaten Aceh Besar Tahun 2019), sehingga setiap kepala keluarga menghasilkan 1,5 kg sampah/hari. Pada Januari hingga Oktober 2020, sampah Kabupaten Aceh Besar mencapai 21.067 ton. Untuk meminimalisir penumpukan sampah di Kabupaten Aceh Besar, pemerintah mengeluarkan Kebijakan Qanun Nomor 8 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Sampah. Pengelolaan sampah diatur dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, yang menekankan perlunya mengubah pola pengelolaan sampah yang ada menjadi pengelolaan sampah mengikuti pengurangan dan pengelolaan sampah (Yulia, 2020).

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang berada di Aceh Besar merupakan peralihan dari metode *open dumping* ke metode *control landfill* untuk meningkatkan pengelolaan sampah di TPA tersebut. Sampah yang masuk dari berbagai daerah akan ditimbun dan diratakan kemudian akan ditanam pipa-pipa di bawahnya untuk proses mengalirkan air lindi menuju *waste stabilization pond* dan *reed bed* sebelum dibuang (Akbar, 2016), meskipun demikian pengelolaan masih belum berjalan dengan maksimal dikarenakan dengan volume sampah yang sangat banyak dan beragam namun tidak ada fasilitas khusus untuk mengolah sampah yang tercampur dengan limbah B3 serta pengolahan lindi dengan tidak optimal dapat mempengaruhi kualitas air tanah dangkal sekitarnya.

Air lindi merupakan sifat cair yang muncul selama proses penguraian sampah dan memiliki bau yang sangat menyengat. Lindi mengandung zat beracun, terutama jika berasal dari limbah yang bercampur dengan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Tanpa penanganan khusus, lindi dangkal dapat mencemari air tanah dangkal, sungai dan sumur. Pada umumnya lindi tidak hanya mengandung senyawa organik dan anorganik, tetapi juga unsur logam berat yang banyak terdapat dalam lindi: arsenik, besi, kadmium, kromium, merkuri, nikel, seng, tembaga dan timbal (Maramis dkk, 2006).

Beberapa jenis sampah yang bersifat B3 seperti baterai bekas (untuk senter, kamera, jam tangan, dan sepatu menyala) mengandung kadmium (Cd) dan merkuri akan berbahaya terhadap kesehatan manusia karena dapat menimbulkan gangguan pada saraf, kerusakan pada sel-sel hati atau ginjal, cacat pada bayi dan dapat mengendap ke tanah yang kemudian berakhir ke sumur penduduk. Maka seharusnya dilakukan pengolahan khusus untuk jenis sampah tersebut melalui metode *solidification/stabilization* atau dengan metode *incineration* untuk proses meng-transmutasi limbah B3 menjadi hasil limbah yang dapat diterima oleh lingkungan serta aman jika dibuang ke lahan pembuangan (Anrozi & Trihadiningrum, 2017).

Fly ash batubara juga merupakan limbah industri yang dihasilkan ketika proses batubara dibakar dan terdiri dari partikel-partikel halus. Prospek *fly ash* batubara perlu diubah karena memiliki peluang yang berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben yang murah. Jadi *fly ash* batubara tidak hanya menjadi limbah yang dapat mencemari lingkungan, tetapi juga berguna dalam memerangi polutan seperti Fe dan Mn dengan mengubahnya menjadi adsorben (Wardani, 2008).

Pengolahan limbah cair dengan proses adsorpsi merupakan salah satu cara alternatif karena menggunakan teknologi yang sederhana dan sesuai untuk pengolahan limbah cair. Diperlukan penggunaan adsorben yang murah dan ramah lingkungan untuk menekan biaya proses adsorpsi. Sejauh persyaratan untuk adsorben yang bersangkutan, harus memiliki permukaan adsorben yang besar, volume internal yang besar, yang ditunjukkan oleh porositas (Naldi & Lisha, 2020).

Penelitian relevan sebelumnya mengenai penggunaan *fly ash* batubara untuk mengolah air lindi telah dilakukan oleh Prayudi (2009) dengan menguji keefektifan antara *fly ash* batubara dengan karbon aktif yang menghasilkan *fly ash* batubara dapat menurunkan kandungan COD dan warna 12 kali lebih efektif dengan metoda pengujian secara adsorpsi pada massa 50 mg/L dengan persentase penurunan 66,96% sedangkan karbon aktif hanya menurunkan 2,53%. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Hsu & Yeh (2008) menggunakan hasil *fly ash* batubara mentah untuk memisahkan Cu dari larutan juga sangat efektif dan terbilang lebih murah.

Dengan latar belakang penelitian yang sudah dilaksanakan tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan daya serap *fly ash* batubara

yang telah diaktifkan terhadap polutan seperti BOD, COD, Fe, Mn dan Zn yang terkandung dalam air lindi. Penelitian ini sekaligus dapat diaplikasikan untuk mengurangi limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara di PT. PLN (Persero) Unit Pembangkit Pelaksana Nagan Raya karena berdasarkan pada data keluaran tahun 2018-2019 limbah yang dihasilkan berupa *fly ash* batubara mencapai 73.753 ton.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan mengambil judul **“Pemanfaatan *Fly Ash* Batubara Sebagai Adsorben Pada Penyerapan Polutan Di Pengolahan Air Lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar”**.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diidentifikasi beberapa masalah diantaranya:

1. Limbah *fly ash* batubara yang dapat mencemari kualitas udara.
2. Air lindi TPA Blang Bintang yang dapat mencemari tanah dan kualitas air permukaan di sekitar.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas *fly ash* batubara dengan metode adsorpsi dalam menurunkan parameter BOD, COD, dan kadar Fe, Mn dan Zn pada air lindi TPA Blang Bintang?
2. Berapakah massa optimum *fly ash* batubara dalam menurunkan parameter BOD, COD, dan kadar Fe, Mn dan Zn pada air lindi TPA Blang Bintang agar sesuai dengan baku mutu tentang air lindi TPA?

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui efektifitas *fly ash* batubara dengan menggunakan metode adsorpsi dalam menurunkan parameter BOD, COD, dan kadar Fe, Mn dan Zn pada air lindi TPA Blang Bintang.

2. Untuk mengetahui massa *fly ash* batubara yang optimum dalam menurunkan parameter BOD, COD, dan kadar Fe, Mn dan Zn setelah pengaktifan dengan larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) konsentrasi 2%.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa, dapat memberi pengetahuan dan wawasan baru tentang pemanfaatan limbah *fly ash* batubara dari PLTU sebagai bahan alternatif dalam pengolahan air lindi.
2. Bagi pihak PLTU Nagan Raya, dapat memberi informasi terkait upaya pemanfaatan limbah *fly ash* batubara sebagai adsorben untuk penyerapan polutan pada pengolahan air lindi.
3. Bagi penulis, dapat menjadi suatu pengalaman serta menambah wawasan dalam mengaplikasikan pengetahuan yang telah diproduksi selama proses belajar di Program Studi Teknik Lingkungan.

1.6. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menggunakan *fly ash* batubara yang berasal dari PLTU Nagan Raya pada stasiun *ash pond area*.
2. Parameter yang akan diuji dalam penelitian ini adalah BOD, COD, Fe, Mn dan Zn.
3. Sampel air lindi yang diuji dalam penelitian ini berasal dari TPA Blang Bintang pada *outlet* unit pengolahan *Reed bet*.
4. Penelitian ini hanya meneliti kemampuan serta pengaruh variasi massa *fly ash* batubara sebagai adsorben terhadap penurunan polutan pada air lindi TPA Blang Bintang dengan metode adsorpsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan langkah terakhir dalam siklus pengelolaan sampah. Umumnya dapat menggunakan berbagai metode pada tahap ini, dari yang sederhana hingga tingkat teknologi tinggi. Metode pengelolaan yang paling terkenal adalah:

1. *Control Landfill*, cara pengelolaan TPA ini menjadi solusi dengan mengganti teknologi *open dumping* dan *sanitary landfill*. Metode ini menumpuk dan meratakan serasah, dan di bawahnya menyusup ke pipa drainase, ditanam secara vertikal, dan kemudian ditutup dengan tanah untuk menghilangkan metana yang terkompresi.
2. *Sanitary Landfill* adalah suatu metode penimbunan sampah di suatu kawasan dengan mempertimbangkan keamanan lingkungan karena telah mengolah sampah. Dalam teknologi ini, sampah yang tersebar di tanah ditutup dengan tanah yang dipadatkan dan dipadatkan kembali jika sudah mencapai ketebalan tertentu. Anda dapat menyebarkan sampah di lapisan tanah atas dan menumpuknya seperti sebelumnya. Kerugian dari metode ini adalah membutuhkan lahan yang luas dan biaya perawatan yang tinggi (Sembiring, 2018).

2.2. Air Lindi (*Leachate*)

2.2.1. Pengertian Umum Air Lindi (*Leachate*)

Secara umum pengertian dari air limbah adalah limbah cair yang berasal dari berbagai kegiatan manusia, seperti kegiatan rumah tangga, industri dan tempat-tempat umum lainnya. Air limbah ini seringkali mengandung zat-zat yang membahayakan kesehatan manusia dan dapat mengganggu kelestarian ekologi. Air limbah dapat dibagi menjadi tiga kategori tergantung pada sumbernya: air limbah dari kegiatan domestik domestik, air limbah hujan dan air limbah kegiatan produksi industri (Metcalf & Eddy, 2003). Sedangkan menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup

Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, disebutkan bahwa air limbah adalah limbah cair yang dihasilkan oleh badan usaha atau kegiatan.

Lindi merupakan limbah cair yang mengandung unsur terlarut dan tersuspensi. Menurut Damanhuri & Padmi (2010), lindi adalah cairan yang dikeluarkan dari tempat pembuangan akhir dan merupakan kemungkinan pencemaran yang berasal dari TPA. Saat hujan, terbentuklah air yang kaya akan mineral dan bahan organik. Jika filtrat dapat mengalir ke permukaan bumi, maka akan berdampak negatif terhadap lingkungan (termasuk manusia).

Tempat pembuangan sampah yang mengandung sampah organik dapat dengan mudah terurai dan menghasilkan lindi berbau busuk, yang dapat berdampak pada pencemaran tanah, air tanah, dan sungai di sekitarnya jika tidak dikelola dengan baik dan benar. Pencemaran air tanah dan air permukaan:

1. Air permukaan yang terkontaminasi dengan air lindi berkonsentrasi tinggi, dapat menimbulkan proses dekomposisi secara biologis yang akan mengurangi kadar oksigen di dalam air dan pada akhirnya keberadaan biota yang bergantung pada keberadaan oksigen dalam air akan ikut mati.
2. Air tanah yang terkontaminasi dengan air lindi berkonsentrasi tinggi tidak layak lagi untuk dimanfaatkan sebagai air bersih, karena zat pencemar tersebut akan mengurangi kadar oksigen terlarut yang terdapat pada sumber air dan mengendap dan bertahan lama di dalam air (Widiarti & Muryani, 2020).

2.2.2. Perembesan Air Lindi (*Leachate*)

Dalam keadaan normal, air lindi akan terkumpul di dasar TPA dan menembus lapisan tanah bawah. Meskipun perpindahan lateral juga dapat terjadi, itu juga tergantung pada karakteristik material di sekitarnya. Karena pentingnya filtrasi vertikal terhadap pencemaran air tanah, banyak tugas penelitian difokuskan pada filtrasi vertikal. Ada dua pertimbangan terkait migrasi lindi, pertama adalah percepatan lindi dari dasar lahan reklamasi ke air tanah melalui permukaan akuifer dan air tanah dari sabuk batuan untuk bergerak kembali dari permukaan akuifer ke air tanah (Munawar, 2011).

2.2.3. Karakteristik Air Lindi (*Leachate*)

Sifat lindi sangat bervariasi tergantung dari proses yang terjadi di TPA, meliputi proses fisik, kimia dan biologi. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses yang terjadi di tempat pembuangan sampah meliputi lokasi, hidrogeologi dan sistem operasi dari berbagai jenis tempat pembuangan sampah, tetapi faktor-faktor ini bervariasi dari satu negara ke negara lain di tempat pembuangan akhir baik aerob maupun anaerob. Hal ini juga mempengaruhi produk dari proses dekomposisi, seperti kualitas atau kuantitas lindi atau gas. Misalnya, jika TPS memiliki banyak sampah organik, lindi yang dihasilkan banyak mengandung bahan organik dan baunya melekat (Larasati dkk, 2016).

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Lindi (*Leachate*)

No.	Parameter	Satuan	Range
1.	COD	mg/liter	150-100000
2.	BOD	mg/liter	100-90000
3.	pH	-	5,3-8,5
4.	Alkalinitas	(mg CaCO ₃ /liter)	300-11500
5.	Hardness	(mg CaCO ₃ /liter)	500-8900
6.	NH ₄	mg/liter	1-1500
7.	N-Organik	mg/liter	1-2000
8.	N-Total	mg/liter	50-5000
9.	NO ₃ (Nitrit)	mg/liter	0,1-50
10.	NO ₂ (Nitrat)	mg/liter	0-25
11.	P-Total	mg/liter	0,1-30
12.	PO ₄	mg/liter	0,3-25
13.	Ca	mg/liter	10-2500
14.	Mg	mg/liter	50-1150
15.	Na	mg/liter	50-4000
16.	K	mg/liter	10-2500
17.	SO ₄	mg/liter	10-1200
18.	Cl	mg/liter	30-4000
19.	Fe	mg/liter	0,4-2200
20.	Zn	mg/liter	0,05-170
21.	Mn	mg/liter	0,4-50

22.	CN	mg/liter	0,04-90
23.	Phenol	mg/liter	0,04-44
24.	As	μg/liter	5-1600
25.	Cd	μg/liter	0,5-140
26.	Co	μg/liter	4-950
27.	Ni	μg/liter	20-2050
28.	Pb	μg/liter	8-1020
29.	Cr	μg/liter	300-1600
30.	Cu	μg/liter	4-1400
31.	Hg	μg/liter	0,2-50

Sumber: Balai Laboratorium Kesehatan Surabaya (2005)

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat lindi, dan secara umum diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa parameter utama lindi adalah BOD, COD dalam air limbah. Rasio BOD terhadap COD tinggi, sedangkan lindi dari TPA lama mengandung konsentrasi BOD, COD dan polutan yang lebih rendah. PH lindi menyebabkan bahan-bahan dalam limbah larut oleh air pada tingkat yang tinggi. Rasio BOD terhadap COD di TPA baru bervariasi dari 0,4% hingga 0,8%, nilai yang akan lebih tinggi pada tahap metanogenesis. Penguraian sampah di tempat pembuangan akhir oleh proses biologis. Perubahan fisik dan kimia serta pembentukan lindi dan gas berhubungan langsung dengan aktivitas biologis TPA (Hutomo, 2012).

Kegiatan biologis terutama dibagi menjadi tiga tahap, yang merupakan rangkaian yaitu:

1. Dekomposisi aerobik dengan oksigen dari tempat pembuangan sampah.
2. Degradasi anaerobik oleh organisme anaerobik dan fakultatif untuk membentuk komponen terlarut sederhana.
3. Metanogen mulai mengkonsumsi bahan-bahan yang lebih sederhana dan menghasilkan metana dan karbon dioksida (Suhartini & Nurika, 2018).

Beberapa logam berat seperti merkuri adalah zat yang berbahaya jika terdapat dalam lindi walaupun ada kemungkinan bahwa terjadi secara alami di lingkungan. Senyawa merkuri dapat berada di udara, tanah dan air di dekat lokasi yang kotor dan berbahaya. Itu dapat bergabung dengan senyawa lain seperti merkuri, klorin, belerang dan oksigen untuk membentuk senyawa merkuri anorganik atau garam.

Sebagian besar senyawa merkuri anorganik adalah bubuk atau larutan putih, dengan pengecualian merkuri sulfida (dikenal sebagai sinabar), apabila terkena cahaya akan berubah warna menjadi hitam dan merah. Merkuri adalah zat yang mudah dan banyak ditemukan di alam dalam bentuk logam merkuri, merkuri klorida, merkuri sulfida dan metil merkuri (Natawijaya & Meylani, 2020).

Arsenik adalah salah satu zat yang paling beracun dan secara kumulatif beracun. Arsen inorganik lebih beracun daripada arsen organik. Pada umumnya orang yang terpapar oleh arsenik ini melalui air, makanan dan udara (Malita & Mufit, 2015). Kadmium adalah logam yang bertindak seperti gunung, sedangkan kadmium kuat, tidak mudah rusak, dan memiliki sifat jangka panjang. Yang paling menakutkan, lokasi rantai makanan akan meningkatkan kandungan logam, diikuti oleh bioakumulasi hingga ekspansi biologis di mana risiko akumulasi logam tambahan paling besar. Akhirnya yang menelan organisme yang terakumulasi logam ini menginduksi kerusakan tubulus ginjal, kerusakan glomerulus, berkurangnya mineralisasi tulang, peningkatan risiko patah tulang, penurunan fungsi paru-paru dan emfisema (Fadhilah & Fitria, 2020).

2.2.4. Parameter Air Lindi (*Leachate*)

Menurut Thomas & Santoso (2019), menjelaskan bahan yang terkandung dalam lindi:

- a. Bahan organik adalah hasil penguraian hewani dan nabati tumbuhan yang mati atau limbah rumah tangga dan limbah industri.
- b. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah gambaran jumlah bahan organik yang dapat diuraikan, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida dan air.
- c. COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi yang dapat diuraikan menjadi karbon dioksida dan air. Air dengan kandungan COD tinggi tidak dapat digunakan untuk kegiatan perikanan atau pertanian.
- d. Suhu optimal diperlukan untuk aktivitas mikroorganisme gram. Proses dekomposisi berlangsung pada suhu tinggi dan meningkat pada kisaran suhu

5-35⁰C. Dalam kisaran suhu ini untuk setiap kenaikan suhu 10⁰C, proses dekomposisi meningkat dan konsumsi O₂ berlipat ganda.

- e. Jamur memiliki pH asam, dan karena bakteri tumbuh dengan baik pada pH netral, bahan organik terurai dengan cepat pada pH netral.
- f. TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah zat terlarut berbentuk (diameter <10⁻⁶ mm) dan koloid (diameter <10⁻⁵ mm-10⁻³ mm) dari senyawa dan zat lain.
- g. Logam berat dapat dibedakan menjadi dua jenis. Dengan kata lain, logam berat alkali adalah logam yang banyak dibutuhkan oleh makhluk hidup. Namun, kehadiran logam ini secara berlebihan memiliki efek toksik. Misalnya, seng, tembaga, besi, kobalt, mangan, dan lain-lain. Logam berat ringan adalah logam yang keberadaannya di dalam tubuh tidak diketahui atau bahkan beracun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain (Irhamni 2017).

2.3. Baku Mutu Air Lindi (*Leachate*)

Untuk menghindari pencemaran TPA, limbah padat dan cair harus diolah sesuai dengan kondisi setempat termasuk populasi, iklim pertanian, topografi, dan kondisi sarana dan prasarana TPA. Hal ini juga digunakan untuk memulihkan sumber daya alam (*resource recovery*). Pengelolaan sampah baik padat, cair, gas maupun bahan radioaktif memerlukan metode dan keterampilan khusus untuk masing-masing jenis sampah. (Natawijaya & Meylani, 2020).

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Lindi (*Leachate*)

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Lindi (*/**)
1.	Suhu	°C	38*
2.	COD	mg/L	300*
3.	BOD	mg/L	150*
4.	TDS	mg/L	2000**
5.	pH	-	6-9*
6.	Pb	mg/L	0,1**
7.	Cu	mg/L	2,0**
8.	Fe	mg/L	5,0**
9.	Mn	mg/L	2,0**
10.	Zn	mg/L	5,0**

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup P.59/2016 tentang baku mutu air lindi*
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5/2014 tentang baku mutu limbah yang belum ditetapkan**

Tabel 2. 3 Hasil Uji Pendahuluan Air Lindi Outlet TPA Blang Bintang

No.	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa
1.	Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD)	mg/L	150	162
2.	Kebutuhan Oksigen Kimia (COD)	mg/L	300	1.405
3.	Fe	mg/L	5	6,8
4.	Mn	mg/L	2	2,1
5.	Zn	mg/L	5	5,03

Sumber: Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan

Berdasarkan parameter di atas dalam satuan baku mutu yang ditetapkan, proses pengukuran juga menggunakan metode lain. Pengukuran pH dapat dilakukan langsung dari lokasi pengambilan sampel, sedangkan pemeriksaan TDS, COD, BOD dan kandungan logam dapat dilakukan secara individual di laboratorium. Pengukuran pH dilakukan dengan merendam pH meter dalam sampel dan membacanya untuk mencatat nilai pH. Pengukuran TDS mengikuti langkah-langkah berikut menggunakan metode penimbangan: Gelas beaker dicuci, dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dan ditimbang menggunakan *moisture MLB-C* untuk mendapatkan massa beaker kosong. Selanjutnya sampel diaduk untuk dihomogenkan dan kemudian disaring dengan memakai kertas saring *whatman no.41*. Sampel hasil saring dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 250°C selama 1 jam sampai gelas kimia kering. Gelas kimia kering yang berisi air sisa dipanaskan kembali dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam untuk mencegah sisa larutan menempel pada dinding gelas kimia. Berat gelas kimia yang dipanaskan diukur pada skala digital untuk menentukan massa gelas kimia dengan residu yang ditambahkan. Nilai TDS kemudian dapat ditentukan sebagai berikut :

$$TDS = \frac{B-C}{V} \times 1000$$

Pemeriksaan nilai COD dan BOD pada lindi dilakukan dengan menggunakan metode titrasi *winkler*, dan kadar logam berat ditentukan dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (Sari & Afdal, 2017).

2.4. Instalasi Pengolahan Air Lindi (*Leachate*) IPAL

Dalam proses perlakuan pengolahan air lindi dibutuhkan perlakuan kimia (flokulasi, oksidasi, netralisasi), filtrasi kerikil (filter biologis), tangki stabilisasi (anaerobik, opsional, matang) dan lahan basah merupakan metode yang efektif,

ekonomis dan ramah lingkungan untuk mengolah lindi. Pengoperasian instalasi pengolahan pelindian biasanya tidak memadai karena tidak memenuhi standar desain dan SOP (standar dan prosedur operasi) yang biasa (Aluko dkk. 2003).

Adapun instalasi pengolahan air limbah dengan sistem kolam yaitu Instalasi pengolahan limbah berbentuk kolam yang dirancang untuk mengolah limbah domestik tanpa menggunakan listrik atau peralatan mekanis. Dalam unit pengolahan yang umumnya digunakan menurut Sembiring (2018) diuraikan sebagai berikut:

a. Kolam Anaerobik

Kolam anaerobik digunakan untuk menguraikan bahan organik (seperti BOD), baik itu anaerobik atau tanpa oksigen. Kolam anaerobik biasanya memiliki kedalaman sekitar 25 meter dan memiliki beban volume harian lebih dari 100 g BOD/m³ hari.

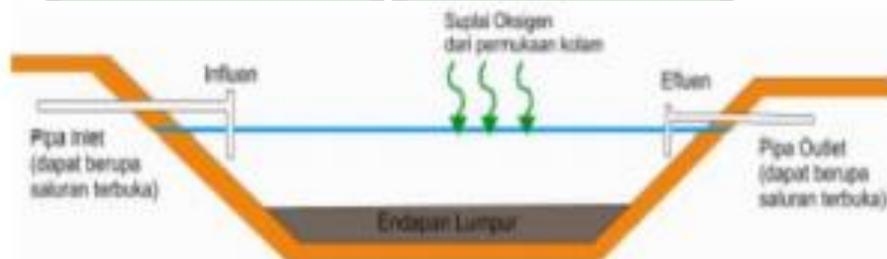


Gambar 2.1 Ilustrasi Pengolahan pada Kolam Anaerobik

Sumber: Sembiring (2018)

b. Kolam Fakultatif

Kolam fakultatif digunakan sebagai kolam untuk menguraikan dan memusatkan bahan organik yang ada dalam air limbah yang diolah di kolam anaerobik.



Gambar 2.2 Ilustrasi pada Kolam

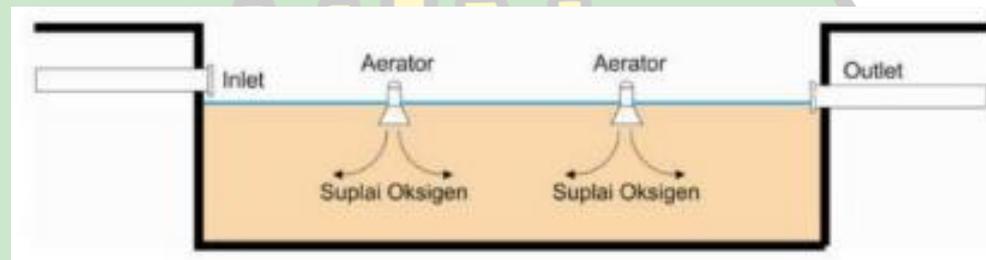
Sumber: Sembiring (2018)

c. Kolam Maturasi

Kolam maturasi bekerja untuk mengurangi *fecal coliform* dalam air limbah melalui proses perubahan kondisi yang terjadi secara cepat dan pada pH tinggi.

d. Aerated Lagoon

Kolam aerasi atau *aerated lagoon* adalah instalasi pengolahan kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator terapung. Karena tidak perlu mendaur ulang lumpur, kolam tidak memerlukan sistem resirkulasi lumpur. Sedimen dibiarkan mengendap di dasar kolam. Selanjutnya filtrat atau air murni dikirim ke saluran masuk air. Sebuah aerator terapung diperlukan untuk menyediakan oksigen ke perangkat ventilasi. Sebuah aerator dipasang untuk menyediakan oksigen untuk semua perangkat aerasi kolam.



Gambar 2.3 Ilustrasi Pengolahan Kolam Aerasi

Sumber: Sembiring (2018)

e. Biofilter

Alat biofilter adalah alat pengolah air limbah yang membentuk lapisan seperti lendir yang disebut lapisan biofilm menggunakan mikroorganisme yang berkembang biak dan tumbuh dengan menempel pada permukaan media. Aliran air limbah yang terus menerus melewati celah atau lubang di antara media filter di dalam air. Bentuk medium filter adalah medium dan/atau medium berongga yang tidak bersifat racun bagi mikroorganisme. Media filter yang umum digunakan terbuat dari bahan alami seperti batu atau kayu, atau dari produk olahan keramik atau plastik.

f. Constructed Wetland

Konstruksi lahan basah adalah perangkat filtrasi yang dikendalikan dan dikendalikan manusia untuk menyaring air limbah menggunakan tanaman, aktivitas mikroba, dan proses alami lainnya. Salah satu fungsinya adalah

lahan basah buatan yang dibuat untuk pengolahan air limbah, lindi dan pengolahan air hujan.

2.5. Dampak Buruk Air Lindi (*Leachate*) Bagi Air Tanah

Menurut Munawar (2011) menyatakan bahwa lindi merupakan hasil cairan di Tempat Penampungan Akhir (TPA) dan jika tidak dikelola dengan baik dan benar, mengandung berbagai kontaminan yang berbahaya bagi manusia atau lingkungan. Lindi permukaan dapat menyebabkan pencemaran air tanah dan air permukaan sebagai berikut:

- a. Air permukaan yang terkontaminasi lindi yang mengandung bahan organik tinggi menghabiskan kandungan oksigen selama proses biodegradasi di dalam air, yang pada akhirnya membunuh semua kehidupan di dalam air yang bergantung pada keberadaan oksigen terlarut.
- b. Air tanah tercemar dengan konsentrasi lindi yang tinggi, menyebabkan pencemar ada dan terus ada di air tanah dalam waktu yang lama, karena jumlah oksigen terlarut yang terbatas, sumber air dari perairan bawah tanah sudah tidak sesuai lagi dengan air bersih.

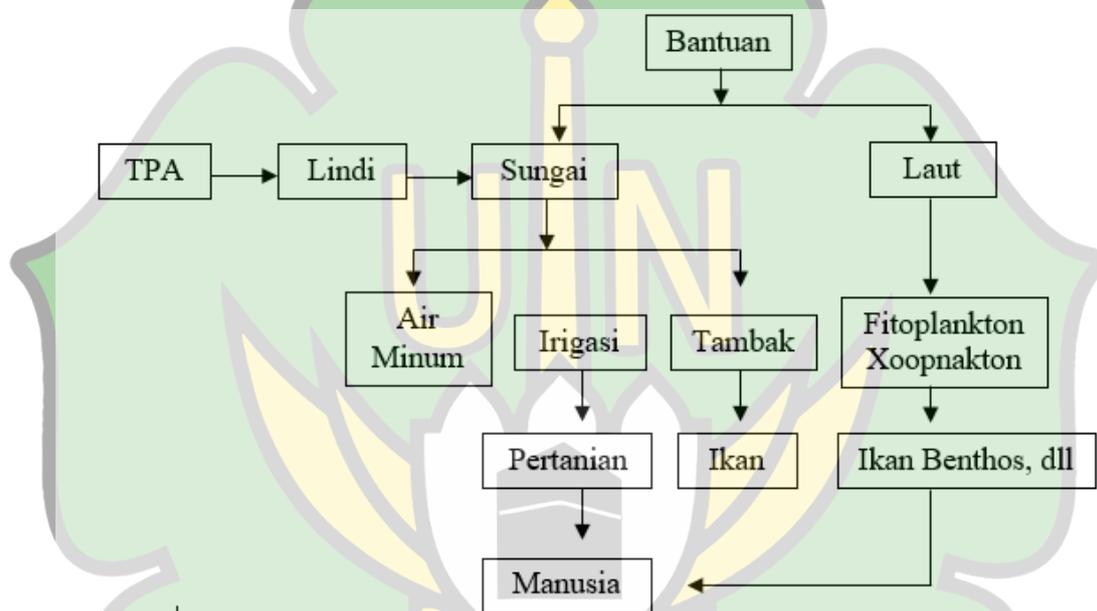
Jika suatu wilayah perairan mengandung bahan organik seperti COD dan BOD yang tinggi, dikhawatirkan akan berdampak negatif terhadap kualitas air di lingkungan karena adanya lindi juga mempengaruhi kualitas air di sekitar TPA. Dampak lindi terhadap sumber daya air sangat memprihatinkan karena dampaknya terhadap lingkungan sangat besar, misalnya lindi dengan kualitas yang buruk mencemari ekologi badan air di sekitarnya (Royani dkk 2021).

Menurut Rosihan & Husaini (2017) menyebutkan bahwa apabila logam berat (Fe, Mn dan Zn) masuk ke dalam tubuh manusia secara berlebihan, maka akan terakumulasi dalam jaringan tubuh dan tidak dapat dikeluarkan lagi dari tubuh serta menimbulkan efek negatif yang serius:

1. Penghambatan aktivitas enzim yang dapat menyebabkan gangguan metabolisme.
2. Menyebabkan kelainan kromosom atau genetik.
3. Menghambat pertumbuhan janin.
4. Berkurangnya kesuburan wanita.
5. Penghambatan spermatogenesis.

6. Penurunan konduksi saraf perifer.
7. Menghambat pembentukan hemoglobin
8. Menyebabkan kerusakan ginjal.
9. Menyebabkan kekurangan darah atau anemia.
10. Pembengkakan kepala atau ensefalopati.
11. Gangguan emosi dan perilaku.

Toksistas logam pada manusia dapat merusak detoksifikasi dan ekskresi jaringan, terutama jaringan (hati dan ginjal). Beberapa logam memiliki sifat karsinogenik (kanker) dan teratogenik (cacat jangka panjang).



Gambar 2 4 Perjalanan Logam Berat Dari Sumber Pencemar Sampai Ke Tubuh Manusia

Sumber: Rosihan & Husaini (2017)

2.6. Fly Ash Batubara

Saat ini pertambangan batubara berkembang sangat pesat. Sumber daya batubara diketahui telah meningkat sedikit selama empat tahun terakhir, tetapi peningkatan produksi batubara telah mengurangi cadangan untuk memenuhi permintaan domestik dan ekspor. Dari cara produksi saat ini diperkirakan bahwa dalam 70 tahun kedepan cadangan batubara akan habis jika tidak diimbangi dengan penemuan cadangan baru (Fitriana & Niode, 2017).

Penggunaan batubara industri semakin meningkat volumenya karena biayanya yang relatif rendah dibandingkan dengan harga bahan bakar industri. Penggunaan batubara sebagai sumber energi alternatif yang dapat dipulihkan tetapi

sebaliknya dapat menimbulkan banyak masalah. Masalah utama dengan penggunaan batubara adalah *fly ash*, produk sampingan dari pembakaran batubara. Beberapa contoh penggunaan batubara menghasilkan sekitar 2-10% *fly ash* batubara. *Fly ash* batubara merupakan sisa pembakaran batubara yang berupa partikel amorf. *Fly ash* adalah jenis mineral yang terbentuk dari perubahan mineral oleh pembakaran. Dalam proses pembakaran batubara di pembangkit uap (*boiler*), dihasilkan dua jenis abu yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Komposisi abu batubara mengandung 10-20% sisa abu dan 80-90% abu terbang. *Fly ash* ditangkap menggunakan *electrostatic precipitator* kemudian dilepaskan ke atmosfer dari cerobong asap (Setiawati, 2018).

Material *fly ash* tidak banyak digunakan karena bersifat limbah industri kimia yang kaya bahan bakar padat, dan sampai saat ini *fly ash* dimanfaatkan sebagai beton, bata, semen, dan paving blok, tukang reparasi lahan pertanian dan lain-lain. Dengan demikian penggunaan limbah *fly ash* batubara hanya sampai pada pemanfaatan untuk bahan dasar dalam industri bangunan sehingga belum ada regulasi untuk peluang pemanfaatan sebagai pengolahan air limbah (Mufrodi dkk, 2008).

2.6.1. Kandungan *Fly Ash* Batubara

Menurut Darmayanti dkk (2018), pengujian pada batubara yang berasal dari Indonesia mempunyai kandungan utama silika dan alumina serta disertai dengan kuarsa, mullite, plagioklas, *crystalite*, dan komponen oksida. Karakteristik abu batubara terutama dapat dilihat pada kandungan unsur-unsur utama dan unsur-unsur jejak. Komposisi mineral yang ditentukan dengan XRD menunjukkan bahwa abu batubara mengandung kuarsa, mullet, plagioklas dan kristobalit.

Tabel 2. 4 Hasil Pengujian XRD Contoh Abu Batubara

Komposisi Mineral	Rumus Kimia	Kalimantan			Sumatera		
		DF	FA	BA	DF	FA	BA
Kuarsa	SiO ₂	x	x	x	x	x	x
Mulit	Al ₆ Si ₂ O ₁₃	x	x	x	x	x	x
Plagioklas	(Na,Ca)Al(Al,Si)Si ₂ O ₈			x			
Cristobalite	SiO ₂						x

Catatan: x : komposisi mineral yang terdeteksi dalam contoh

Sumber : Damayanti dkk., (2004)

Seperti pada contoh PLTU Jawa Timur dan Jawa Barat, konsentrasi Na_2O , K_2O , CaO dan MgO yang merupakan unsur utama *fly ash* dan *bottom ash* juga sedikit berbeda. Meskipun kandungan CaO dalam abu layang hampir dua kali lipat dari abu residu, namun konsentrasi Na_2O dan MgO pada kedua jenis abu tersebut hampir sama. Kandungan K_2O *fly ash* hanya setengah dari konsentrasi oksida alkali tanah di bagian bawah.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia Mayor Dalam Abu Batubara

No.	Komposisi Kimia	Satuan	Abu Batubara dari PLTU					
			Jawa Timur			Jawa Barat		
			DA	FA	BA	DA	FA	BA
1.	SiO_2	%	41,2	41,3	51,1	49,5	51,3	62,2
2.	Al_2O_3	%	29,5	29,5	17,94	20,55	34,6	25,5
3.	TiO_2	%	1,30	1,25	1,36	1,11	0,13	0,13
4.	Fe_2O_3	%	13,53	11,55	11,95	4,49	5,11	5,25
5.	CaO	%	8,11	9,13	4,78	3,13	4,48	2,37
6.	MgO	%	2,15	2,46	1,98	1,54	1,81	1,20
7.	K_2O	%	0,99	1,14	2,83	0,48	0,48	0,33
8.	Na_2O	%	1,36	1,73	1,09	2,16	0,69	0,44
9.	MnO_2	%	0,053	0,038	0,083	0,089	0,20	0,18
10.	SO_3	%	0,72	0,82	0,25	14,18	tt	tt
11.	P_2O_5	%	0,29	0,24	0,27	0,57	-	-
12.	LOI	%	0,61	0,62	6,22	2,08	0,45	2,16
13.	SiO_2	%	57,2	63,3	62,8	55,58	44,4	87,8
14.	Al_2O_3	%	26,5	22,4	21,0	18,97	27,0	4,43
15.	TiO_2	%	0,92	1,01	1,06	1,02	1,44	0,27
16.	Fe_2O_3	%	5,10	6,26	5,81	14,26	15,84	5,47
17.	CaO	%	3,30	1,97	2,27	1,38	3,49	0,15
18.	MgO	%	1,89	1,19	1,37	1,16	2,32	0,30
19.	K_2O	%	0,57	0,33	0,36	0,66	0,68	0,36
20.	Na_2O	%	1,63	0,66	0,95	0,71	0,17	0,094

Sumber : Damayanti dkk., (2004)

Catatan : DA = Lokasi penimbunan (Campuran FA dan BA), FA = Abu terbang, BA = Abu dasar, tt = Tidak terdeteksi

2.6.2. Karakteristik *Fly Ash* Batubara

Menurut Darmayanti dkk (2018) *fly ash* (abu terbang) mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut:

a. Komposisi Kimia

Elemen utama yang terkandung dalam abu terbang adalah silika, aluminium, oksida besi, kalsium oksida, oksida belerang, dan karbon, yang diukur dengan LOI (*Loss of flammability*). Komposisi *fly ash* tergantung pada jenis batubara dan limitasi pembakaran. Hasil studi *fly ash* batubara ditunjukkan pada Tabel 2.6. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 dengan SO_3 70% atau lebih kurang dari 5%, dan digolongkan sebagai *fly ash* Kelas F berdasarkan klasifikasi ASTM C618.

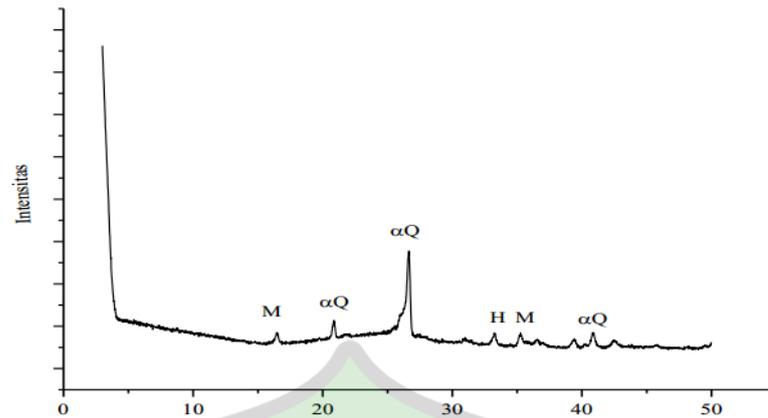
Tabel 2.6 Komposisi Kimia Fly Ash

No.	Oksida	Komposisi, % Massa
1.	SiO_2	52,49
2.	Al_2O_3	27,82
3.	Na_2O	0
4.	MgO	4,56
5.	CaO	6,35
6.	SO_3	1,40
7.	Fe_2O_3	4,97
8.	Lain-lain	2,41
9.	pH	10,9

Sumber : Darmayanti, 2018

b. Komposisi XRD

Hasil XRD *fly ash* ditunjukkan pada Gambar 2.5. *Fly ash* terdiri dari mineral utama kuarsa dan mineral lain seperti hematit dan mullite dalam jumlah yang dapat diabaikan. Sebagian besar kandungan *fly ash* bersifat amorf. Hasil analisis, komponen utama *fly ash* dapat berupa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $\text{CaO} < 10\%$ aspal. Komponen amorf merupakan komponen utama *fly ash* yang merupakan bagian penting yang menentukan reaktivitas *fly ash*, dan semakin tinggi komponen amorf maka reaktivitasnya semakin tinggi.

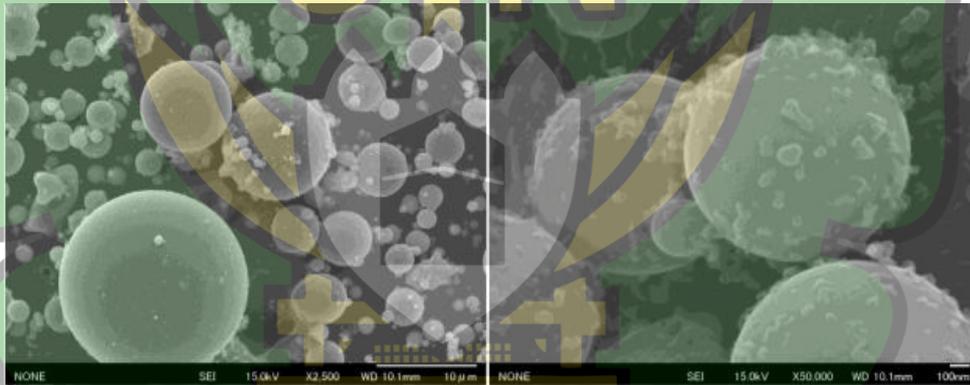


Gambar 2.5 Pola XRD fly ash (α Q-quartz, H-hematite, M-mullite)

Sumber: Darmayanti (2018)

c. Morfologi

Bentuk partikel *fly ash* terutama ditentukan oleh suhu pembakaran dan laju pendinginan. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa *fly ash* biasanya berbentuk bulatan sedang, rongga berlubang (*xenosea*) dan karbon yang terbakar tidak beraturan. Hasil SEM *fly ash* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Scanning Electron Micrograph fly ash

Sumber: Darmayanti (2018)

Dari gambar terlihat bahwa hasil SEM *fly ash* adalah 1-10 μ m dan menunjukkan partikel sferis halus (*cenosphere*) dengan berbagai ukuran. Partikel bulat terdiri dari silikat, aluminium oksida dan magnesium oksida. Partikel-partikel tersebut saling berdekatan dan tidak saling menempel sehingga membentuk massa. Terlepas dari bentuk partikel yang bulat, beberapa partikel memiliki bentuk dan ukuran yang tidak sistematis, sehingga keadaan fisik silika mungkin berbeda.

2.6.3. Pemanfaatan *Fly Ash* Batubara

Menurut Darmayanti dkk (2018) di beberapa negara telah memanfaatkan penggunaan *fly ash* karena mempertimbangkan efek pemanasan global akibat jejak karbon hasil pembangkit listrik. Pemerintah China telah menerapkan langkah-langkah untuk mengekang penggunaan *fly ash*, sehingga diyakini bahwa penggunaan tersebut dapat membatasi dampak buruk terhadap lingkungan. Di Cina studi sistematis dilakukan untuk mengamati perubahan kimia dan mineralogi pada limbah dari pembakaran batubara yang berasal dari Indonesia seperti *fly ash* dan *bottom ash*. Percobaan juga termasuk pembentukan *fly ash* dan *bottom ash* memanfaatkan siklon yang ditambahkan dengan alat filter. Atur proses ke mode pembakaran pada 1200-1400 °C dengan kontrol yang ketat.

Pada dasarnya pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang untuk menunjang prasarana. Di Cina, terdapat 6 (enam) contoh penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* yaitu:

1. Pembuatan komponen bahan bangunan seperti batu bata, semen, paving dan keramik.
2. Untuk bahan baku bangunan seperti beton, mortar dan lain-lain.
3. Pembangunan jalan, termasuk tanggul dan trotoar.
4. Bahan pengisi meliputi urugan tanah struktural, urugan konstruksi, urugan tanah kosong, areal pertambangan, areal penyimpanan batubara dan lain-lain.
5. Aplikasi pertanian termasuk reklamasi tanah, produksi pupuk majemuk dan amandemen tanah.
6. Salah bentuk penggunaan kembali bahan mentah yang berguna.

Di India, *fly ash* batubara yang menjadi produk sampingan dari industri pembangkit listrik telah terbukti cocok untuk berbagai aplikasi seperti beton/semen atau mortar, aditif untuk campuran kapur pozzolan (batu-bata/blok) dan lain-lain. Tingkat penggunaan *fly ash* di industri semen dan beton mencapai 50%, penggunaan lain untuk mengisi dataran rendah 17%, konstruksi jalan dan tanggul 15%, tanggul 4%, produksi batu bata 2%, relatif baru dan dianggap aman adalah dalam bidang seni lukis dan pertanian.

Material dari *fly ash* batubara merupakan salah satu adsorben yang berasal dari bahan alam dan limbah yang tergolong sebagai adsorben berbiaya rendah

karena mudah diperoleh dan murah untuk digunakan. Setiap hari, berbagai polutan dilepaskan ke lingkungan yang berasal dari berbagai kegiatan industri dan ini dapat digunakan sebagai peluang berkelanjutan untuk meneliti adsorben baru termasuk *fly ash*. Selain harga terjangkau karena limbahnya, *fly ash* masih akan tersedia dalam besaran banyak selama industri pembangkit listrik terus berkembang. Dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa sejumlah besar logam berat dapat dihilangkan dari larutan menggunakan adsorben berbasis *fly ash*. Demikian kelayakan penggunaan *fly ash* sebagai adsorben untuk menghilangkan ion Cd(II) dan Ni(II) secara otomatis atau bersamaan dari larutan (Darmayanti dkk, 2018).

2.7. Aktivasi Fly Ash Batubara

Metode aktivasi dapat dibagi menjadi aktivasi fisik dan aktivasi kimia. Aktivasi fisik adalah metode yang dilakukan dengan melewati uap atau udara bertemperatur tinggi melalui reaktor yang sebelumnya telah dikarbonisasi pada temperatur tinggi (800-900 °C). Pada saat yang sama, aktivasi kimia dilakukan dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4), seng klorida ($ZnCl_2$), magnesium karbonat ($MgCO_3$), natrium karbonat ($NaCO_3$), kalsium klorida ($CaCl_2$), natrium klorida ($NaCl$) dan bahan kimia lainnya zat atau komponen aktivasi untuk aktivasi kimia Natrium Hidroksida ($NaOH$) dan lain-lain (Darmayanti dkk, 2018).

2.8. Adsorpsi

Wahyuni & Widiastuti (2010) menjelaskan suatu peristiwa yang melibatkan interaksi molekul gas atau cair dengan permukaan molekul padat yang teradsorpsi. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik menarik ke dalam atau gaya rekat adsorben lebih besar dari pada gaya rekat. Karena ketidakseimbangan gravitasi, adsorben cenderung menarik zat lain yang bersentuhan dengan permukaan.

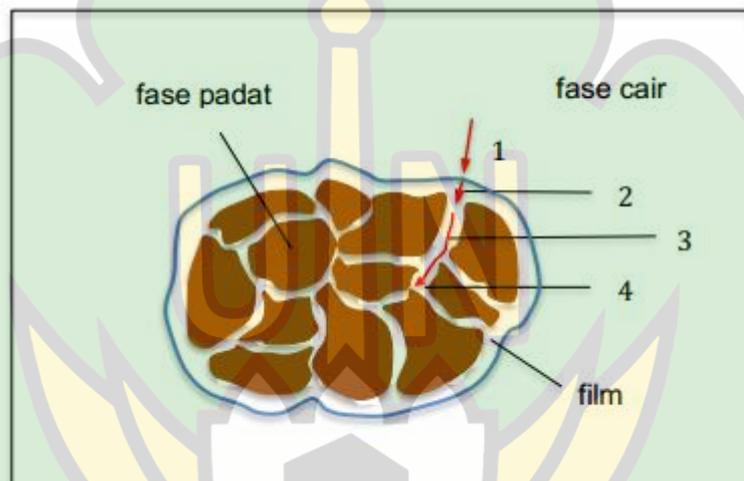
Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yang baik adalah (Cahyono & Tuhu, 2012):

1. Area permukaan adsorben, proses yang terjadi pada permukaan adsorben disebabkan oleh adanya pengaruh besar kecilnya pada permukaan, semakin besar permukaan maka akan semakin tinggi kapasitas adsorpsi. Tidak berubah dalam satuan volume selama adsorpsi dan desorpsi.

2. Adsorben dengan kemurnian tinggi memiliki kapasitas adsorpsi yang sangat baik.

2.8.1. Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme adsorpsi meliputi empat tahapan yaitu difusi eksternal adsorbat dari fase cairan ke bagian luar film, difusi eksternal adsorbat dari bagian luar film ke permukaan adsorben, difusi intrapartikel adsorbat melalui pori menuju situs adsorpsi serta pengikatan adsorbat oleh situs adsorpsi, dan pengikatan adsorbat oleh situs adsorpsi di permukaan adsorben, dimana langkah yang paling lambat merupakan langkah yang menentukan laju adsorpsi secara keseluruhan.



Gambar 2.7 Ilustrasi mekanisme adsorpsi pada satu butir padatan adsorben

Sumber: Astuti (2018)

1. Difusi Eksternal Adsorbat Dari Fase Cairan Ke Bagian Luar Film
Pada awal proses adsorpsi terjadinya adsorbat akan berdifusi dari fase cairan menuju ke bagian luar lapisan film atau lebih dikenal dengan difusi eksternal. Dengan adanya pengadukan tersebut menyebabkan tahap ini akan berjalan sangat cepat sehingga dapat diabaikan.
2. Difusi Eksternal Adsorbat Dari Lapisan Film Ke Permukaan Adsorben
Difusi eksternal pada lapisan film dapat berjalan cepat atau lambat di pengaruhi oleh sifat adsorben dan adsorbat. Jika terdapat ketidaksesuaian kepolaran diantara keduanya maka proses adsorpsi dapat berjalan lebih lambat. Hal ini karena adsorbat memiliki sifat polar yang sulit untuk melalui permukaan adsorben yang bersifat nonpolar.
3. Difusi Intrapartikel Adsorbat Melalui Pori Menuju Situs Adsorpsi

Jika pada difusi eksternal yang dipengaruhi oleh pengadukan, maka pada difusi intrapartikel dipengaruhi oleh ukuran butir adsorben yang dimana semakin kecil ukuran partikel maka proses difusi akan berjalan semakin cepat. Namun, adanya molekul-molekul adsorbat yang terlebih dahulu menempel pada permukaan pori adsorben memungkinkan terhambatnya pergerakan molekul adsorbat di dalam pori-pori sehingga proses difusi ini dapat berjalan sangat lambat.

4. Pengikatan Adsorbat Oleh Situs Adsorpsi Di Permukaan Adsorben

Proses penyerapan pada umumnya dapat terjadi dengan cepat sehingga langkah ini tidak mengontrol laju adsorpsi secara keseluruhan. Namun demikian, seringkali terdapat ketidaksesuaian kepolaran dengan permukaan adsorben. Hal ini disebabkan oleh pengikatan molekul adsorbat pada permukaan adsorben terjadi lebih lama.

2.8.2. Klasifikasi Adsorpsi

1. Adsorpsi Fisika

Karena energi yang dibutuhkan relatif rendah, kurang dari 1 kkal/g.mol dan gaya yang timbul dari adsorpsi fisika ini relatif kecil, adsorpsi ini berlangsung cepat dan *reversibel*. Namun, dapat distabilkan untuk menurunkan tekanan gas dan konsentrasi zat terlarut.

2. Adsorpsi Kimia

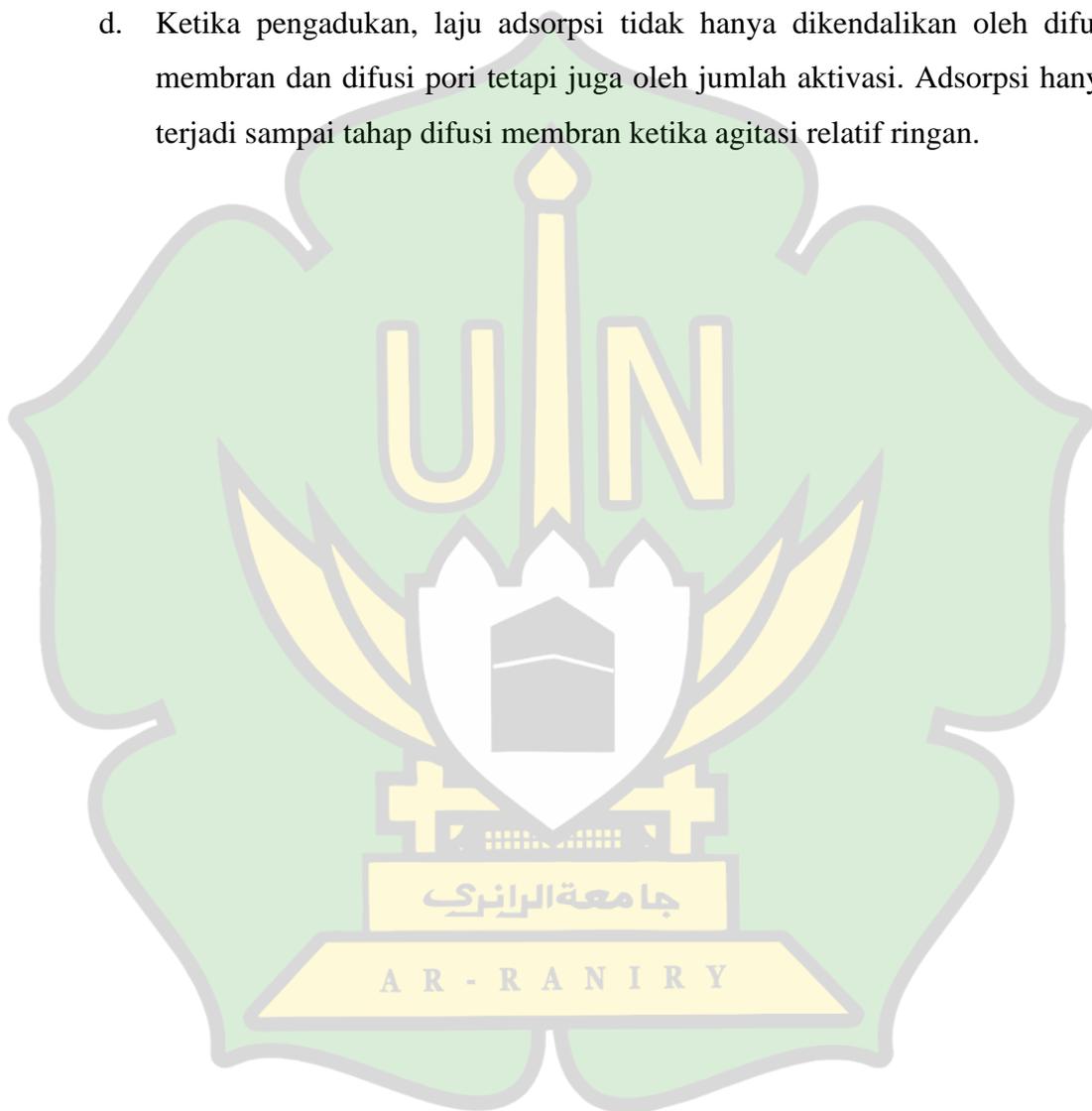
Adsorpsi kimia terjadi melalui reaksi antara molekul air yang teradsorpsi dan adsorben membentuk ikatan kimia. Ikatan kimia ini termasuk ikatan kovalen, hidrogen dan ion. Kekuatan ikatan adsorpsi kimia tergantung pada reaktan (Wahyuni, 2010).

2.8.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Menurut Cahyono & Tuhi (2012) menyatakan semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin besar kapasitas adsorpsi dari adsorben dan semakin efisien untuk proses adsorpsi. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan adsorben:

- a. Ukuran Partikel, diameter granul lebih dari 0,1 mm dan sedangkan diameter bubuk 200 mesh. Ini menandakan semakin kecil ukuran suatu partikel dapat meningkatkan laju adsorpsinya.

- b. Dalam proses adsorpsi waktu kontak sangat penting untuk diperhatikan. Hal ini dikarenakan waktu kontak yang lebih lama menempatkan difusi dan fiksasi molekul adsorben yang lebih baik. Waktu pemaparan cukup lama untuk menurunkan konsentrasi bahan organik sekitar 10-15 menit.
- c. Distribusi ukuran molekul air yang teradsorpsi memasuki partikel adsorben dipengaruhi oleh distribusi ukuran pori.
- d. Ketika pengadukan, laju adsorpsi tidak hanya dikendalikan oleh difusi membran dan difusi pori tetapi juga oleh jumlah aktivasi. Adsorpsi hanya terjadi sampai tahap difusi membran ketika agitasi relatif ringan.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

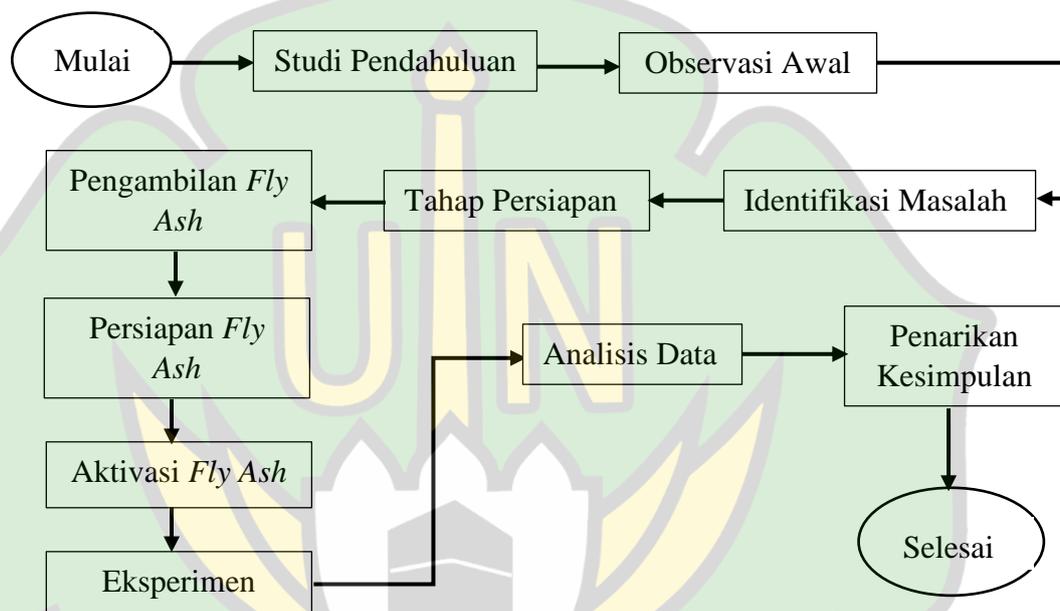
3.1. Tahapan Umum

Tahapan umum di penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu:

1. Studi pendahuluan, dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari berbagai jurnal, skripsi dan tesis yang terkait dengan penelitian.
2. Observasi awal, dilakukan untuk mengetahui kondisi air lindi sehingga bisa ditentukan alternatif pengolahan yang sesuai.
3. Identifikasi masalah, dilakukan dengan uji awal berdasarkan dari hasil kajian literatur. Hasil dari identifikasi masalah ini dijadikan acuan untuk penentuan titik pengambilan sampel dan parameter polutan yang diteliti.
4. Tahap persiapan, adalah proses penyiapan alat dan bahan yang diperlukan dalam menunjang penelitian dengan tujuan agar waktu dan proses pengerjaan yang dilakukan bisa efektif.
5. Pengambilan *fly ash*, dilakukan sampling di bagian *outlet fly ash* silo PLTU Nagan Raya.
6. Persiapan *fly ash*, merupakan tahap pembersihan dan selektif *fly ash* batubara agar terbebas dari partikel yang tidak diinginkan.
7. Pembuatan dan aktivasi adsorben, merupakan tahap *fly ash* batubara diproses dan diaktifkan dengan larutan asam sulfat menjadi adsorben yang digunakan untuk proses penurunan polutan BOD, COD, logam Fe, Mn dan Zn pada air lindi.
8. Tahap eksperimen, adalah tahapan perlakuan untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap penurunan polutan BOD, COD, kadar logam Fe, Mn dan Zn pada air lindi. Selanjutnya hasilnya dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang telah ditentukan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 59 tahun 2016 tentang baku mutu air lindi dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu limbah yang belum ditetapkan.

9. Tahap analisis data, tahap ini dilakukan apabila sampel air lindi telah diperiksa parameternya sehingga menjadi informasi data dan bisa digunakan untuk penarikan kesimpulan.
10. Tahapan penarikan kesimpulan, yaitu menjawab variasi massa optimum dalam menurunkan polutan dan bagaimana efektivitas kemampuan *fly ash* batubara dengan metode adsorpsi dalam menurunkan polutan BOD, COD, kadar logam Fe, Mn dan Zn pada air lindi.

Tahapan umum penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Tahapan Umum Penelitian

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa lokasi yaitu: (1) Sampel air lindi diambil pada kolam *reed bed* TPA Regional Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar. Pemilihan lokasi pengambilan sampel air lindi di TPA Blang Bintang dikarenakan kondisi air lindi pada bagian *outlet* tersebut terindikasi pencemaran yang melebihi baku mutu seperti BOD, COD, kadar logam Fe, Mn dan Zn serta berwarna gelap sehingga harus dilakukan pengolahan agar tidak mencemari air permukaan dan tanah di sekitar. Kondisi air lindi dapat dilihat pada Gambar 3.2. (2) Lokasi pemeriksaan awal parameter air lindi dilakukan di Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan USK. (3) Tempat pengambilan *fly ash* batubara di stasiun *ash pond area* PLTU Nagan Raya. (4) Lokasi produksi hasil pemanfaatan dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh. (5) Lokasi

pemeriksaan parameter air lindi setelah perlakuan dilakukan di Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi serta di Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan USK.

Sedangkan waktu yang digunakan dalam penelitian dan penyelesaian tugas akhir ini dilakukan selama 6 (enam) bulan, yaitu dari bulan Mei 2021 pengajuan proposal penelitian sampai dengan bulan Oktober 2021.

3.3. Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

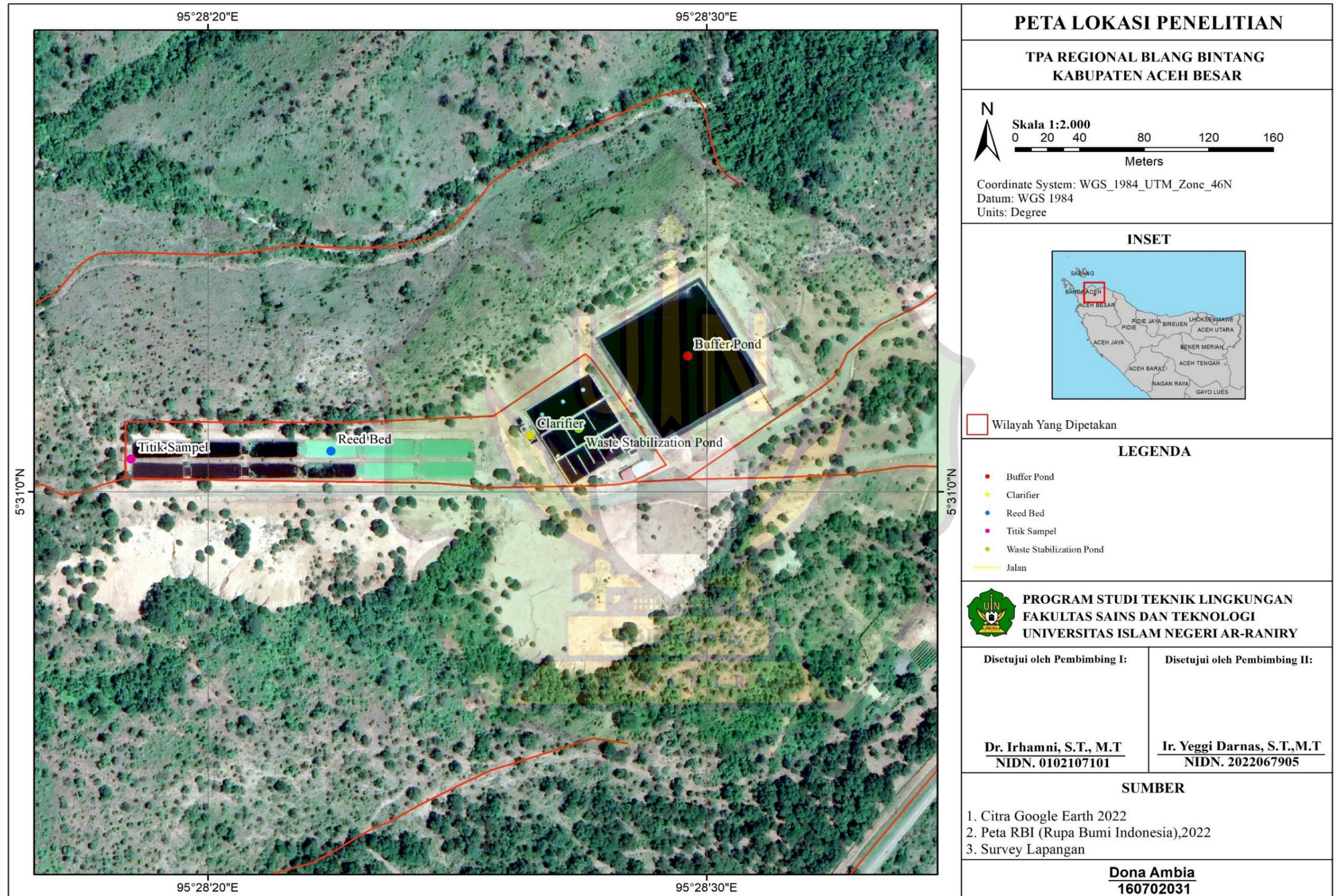
Berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah pengambilan sampel dilakukan dengan cara sesaat atau *grab sampling* dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) Sampel lindi diambil pada kolam *reed bed* TPA Regional Blang Bintang. (2) Sampel diambil menggunakan ember plastik kemudian dimasukkan ke dalam jerigen plastik. (3) Selanjutnya jerigen plastik yang telah diisi sampel diberikan label. Sampel yang diambil pada penelitian ini sebanyak 3 liter.



(a)

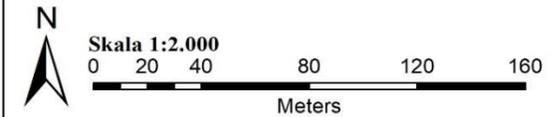
(b)

Gambar 3. 2 (a) Kondisi Air Lindi (b) Pengambilan Sampel



PETA LOKASI PENELITIAN

**TPA REGIONAL BLANG BINTANG
KABUPATEN ACEH BESAR**



Coordinate System: WGS_1984_UTM_Zone_46N
Datum: WGS 1984
Units: Degree

INSET



Wilayah Yang Dipetakan

LEGENDA

- Buffer Pond
- Clarifier
- Reed Bed
- Titik Sampel
- Waste Stabilization Pond
- Jalan

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY**

Disetujui oleh Pembimbing I:

Disetujui oleh Pembimbing II:

Dr. Irhamni, S.T., M.T
NIDN. 0102107101

Ir. Yeggi Darnas, S.T., M.T
NIDN. 2022067905

SUMBER

1. Citra Google Earth 2022
2. Peta RBI (Rupa Bumi Indonesia), 2022
3. Survey Lapangan

Dona Ambia
160702031

Gambar 3. 3 Informasi Peta Lokasi Titik Pengambilan Sampel

3.4. Pembuatan dan Aktivasi Adsorben *Fly Ash* Batubara

3.4.1. Alat

Alat yang digunakan pada proses pembuatan adsorben *fly ash* batubara sebagai berikut:

1. Oven FCD-3000 Serial
2. Ayakan (*screen*) ukuran 100 mesh
3. Lumpang dan alu
4. Gelas ukur 250 ml
5. Gelas kimia 500 ml
6. Labu ukur 1000 ml
7. Pipet tetes 10 ml
8. *Hot Plate Stirrer* SB162-3
9. Kertas saring
10. Gunting
11. Corong
12. Spatula
13. Neraca analitik OHAUS

3.4.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada proses pembuatan dan pengaktifan adsorben dari *fly ash* batubara dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Bahan yang digunakan dalam pembuatan dan pengaktifan adsorben *fly ash* batubara

No.	Nama Bahan	Volume	Satuan
1.	<i>Fly Ash</i> Batubara	500	Gram
2.	Asam Sulfat (H_2SO_4)	25,7	ml
3.	Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$)	1,5	ml
4.	Aquades	4	L

3.4.3. Cara Kerja

Tahap dalam pembuatan adsorben dari *fly ash* batubara adalah sebagai berikut:

1. *Fly ash* sebanyak 500 gram dicuci menggunakan aquades.

2. Selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C selama 3 jam.
3. Setelah dikeringkan, *fly ash* dihancurkan sampai halus menggunakan lumpang dan alu.
4. Kemudian padatan yang telah halus dihomogenkan dan diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 100 mesh.
5. Diambil dan ditimbang *fly ash* seberat 330 gram dan dimasukkan ke dalam alat labu bulat ukuran 500 ml dan diaktivasi dengan larutan asam sulfat 1000 ml yang telah pengenceran 2%.
6. Campuran tersebut dihomogenkan pada suhu 60 °C selama 120 menit dengan bantuan *Hot Plate Stirrer* SB162-3.
7. Selanjutnya *fly ash* disaring dan dicuci kembali menggunakan aquades hingga pH filtrat menjadi netral.
8. Kemudian baru dikeringkan lagi dalam oven dengan suhu 110 °C selama 1 jam.

3.5. Proses Adsorpsi Polutan Terhadap Air Lindi Dengan Adsorben *Fly Ash* Batubara

3.5.1. Alat

Alat yang digunakan pada proses adsorpsi polutan terhadap air lindi dengan menggunakan adsorben dari *fly ash* batubara adalah sebagai berikut:

1. Neraca analitik OHAUS
2. Gelas kimia 100 ml
3. Gelas kimia 500 ml
4. Jar test
5. Kertas saring *Whatman* No.41

3.5.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada proses adsorpsi polutan terhadap air lindi dengan menggunakan adsorben dari *fly ash* batubara dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan pada proses adsorpsi polutan dari *fly ash* batubara

No.	Nama Bahan	Volume	Satuan
1.	Air Lindi	3	Liter
2.	Adsorben <i>Fly Ash</i>	330	Gram

3.5.3. Cara Kerja

1. Dimasukkan sampel air lindi pada enam gelas kimia masing-masing sebanyak 500 ml.
2. Pada gelas kimia I tidak ditambahkan adsorben *fly ash* sebagai kontrol. Sedangkan pada gelas kimia II, III, IV, V dan VI ditambahkan adsorben *fly ash* sebanyak 35 gr, 50 gr, 65 gr, 80 gr dan 100 gr berturut-turut.
3. Dilakukan pengadukan menggunakan *jar test* dengan pengadukan cepat 300 rpm selama 60 menit.
4. Selanjutnya sampel didiamkan selama 120 menit untuk proses pengendapan.
5. Kemudian dilakukan penyaringan pada larutan dengan kertas saring *Whatman No.41* untuk memisahkan residu dan filtratnya dan dilakukan analisa laboratorium.

3.6. Analisa Laboratorium

3.6.1. Pengujian BOD

- a. Masukkan 250 ml sampel ke dalam botol uji BOD dan masukkan *magnetic stirrer*.
- b. Tutup botol dengan *alkalinity holder* yang di dalamnya dimasukkan NaOH untuk menghilangkan ion logam berat yang ada pada sampel.
- c. Kemudian BOD sensor sebagai penutup akhir untuk dilakukannya proses pengukuran pada suhu 20 °C selama 5 hari.
- d. Setelah 5 hari nilai BOD akan terukur pada sensor dan di catat hasilnya (SNI 6989.72:2009).

3.6.2. Pengujian COD

- a. Pilih Reaktor COD. Panaskan peralatan hingga suhu 150 °C. Tempatkan pelindung plastik di bagian depan reaktor.
- b. Buka tutup botol COD *Digestion Reagent*, tergantung kisaran yang diinginkan:

Range Konsentrasi Sampel (mg/L)	Type COD Digestion Vial
0 – 1.500	Low Range
0 – 1.500	High Range
0 – 15.000	High Range Plus

- c. Posisikan botol pada sudut 45 derajat. Pipet 2 ml sampel dan masukkan ke dalam vial (0,2 ml dalam kisaran 0 – 15.000 mg/L).
- d. Jika perlu, gunakan tutup untuk menutup botol dengan rapat. Bilas bagian luar vial COD dengan air suling dan lap vial dengan tisu.
- e. Kocok botol selama beberapa menit untuk memastikan campurannya merata. Tempatkan tabung pada pemanas reaktor COD.
- f. Tambahkan 2 ml air suling ke sampel dan ulangi langkah a sampai e untuk mengosongkan.
- g. Lalu panaskan vial selama 2 jam.
- h. Matikan reaktor. Tunggu sekitar 20 menit hingga tabung menjadi dingin di bawah 120 °C.
- i. Kocok botol saat masih hangat. Tempatkan tabung di rak dan tunggu hingga dingin pada suhu kamar. Jika sampel yang dipanaskan menunjukkan warna hijau, ukur nilai COD.
- j. Lakukan analisis dengan metode kolorimetri dengan alat spektrofotometer.
- k. Masukkan nomor program COD rentang rendah. Tekan nomor 430 dan enter. Kemudian layar akan mengatakan dial 420 nm.
- l. Putar panjang gelombang hingga tampilan menunjukkan 420 nm. Jika panjang gelombang benar, sampel Nol dan mg/L LR akan ditampilkan berurutan di layar (SNI 6989.2:2009).

3.6.3. Pemeriksaan Fe

- a. Ambil contoh uji dengan pipet 25 ml dan masukkan ke tube.
- b. Tambahkan *Ferrozine Iron Reagent Solution Pillows* ke dalam tube, menghomogenkan larutan. Sampel akan berubah menjadi warna kuning.
- c. Set timer selama 5 menit, sampel akan berubah menjadi warna ungu jika terdapat logam besi di dalamnya.
- d. Lanjutkan mengisi contoh uji ke dalam tube lainnya. Untuk mencegah hasil yang rendah, letakkan sampel pada permukaan datar dan jangan memindahkannya selama reaksi reagen masih berlangsung.

- e. Setelah pengatur waktu selesai, masukkan sampel ke dalam kuvet dan letakkan di dalam alat spektrofotometer, baca masing-masing absorbansinya pada panjang gelombang 562 nm (SNI 6989.4:2009).

3.6.4 Pemeriksaan Mn

- a. Ambil contoh uji dengan menggunakan pipet 10 ml dan masukkan ke tube.
- b. Tambahkan *Ascorbic Acid Powder Pillows* ke dalam tube, menghomogenkan larutan.
- c. Tambahkan 12 tetes *Alkaline-Cyanide Reagent*, dan 12 tetes larutan indikator PAN 0,1%.
- d. Set timer selama 2 menit, sampel akan berubah menjadi warna orange jika terdapat logam Mn di dalamnya.
- e. Lanjutkan mengisi contoh uji ke dalam tube lainnya. Untuk mencegah hasil yang rendah, letakkan sampel pada permukaan datar dan jangan memindahkannya selama reaksi reagen masih berlangsung.
- f. Setelah pengatur waktu habis, masukkan sampel ke dalam kuvet dan letakkan di dalam alat spektrofotometer, baca masing-masing absorbansinya pada panjang gelombang 560 nm (SNI 6989.5:2009).

3.6.5. Pemeriksaan Zn

- a. Ambil contoh uji dengan menggunakan pipet 20 ml dan masukkan ke tube.
- b. Tambahkan *ZincoVer 5 Reagent Powder Pillows* ke dalam tube, menghomogenkan larutan. Sampel akan berubah warna menjadi warna orange.
- c. Set timer selama 30 detik, jika sampel berubah warna coklat atau biru menandakan konsentrasi Zn terlalu tinggi.
- d. Lanjutkan mengisi contoh uji ke dalam tube lainnya. Untuk mencegah hasil yang rendah, letakkan sampel pada permukaan datar dan jangan memindahkannya selama reaksi reagen masih berlangsung.
- e. Setelah pengatur waktu habis, masukkan sampel ke dalam kuvet dan letakkan di dalam alat spektrofotometer, baca masing-masing absorbansinya pada panjang gelombang 213 nm (SNI 6989.7:2009).

3.7. Analisis Data

Untuk menentukan apakah *fly ash* batubara dapat efektif dijadikan sebagai adsorben polutan terhadap parameter COD, BOD, Fe, Mn dan Zn pada air lindi dan mengetahui efektivitas penyerapan adsorben yang telah diaktivasi melalui pengujian di laboratorium dapat ditentukan dengan rumus:

$$\text{Efektivitas Penyerapan (\%)} = \frac{[x] \text{ awal} - [x] \text{ akhir}}{[x] \text{ awal}} \times 100 \quad (3.1)$$

Dimana:

[x] Awal = Konsentrasi awal polutan (mg/L)

[x] Akhir = Konsentrasi polutan (mg/L) saat setelah proses penyerapan

Analisa selanjutnya yaitu analisa data menggunakan persamaan regresi linear sederhana yang merupakan suatu model matematika yang diperuntukkan mendeskripsikan atribut data melalui pengaruh antara variabel bebas (massa adsorben) dan variabel terikat (parameter BOD, COD, Fe, Mn dan Zn) yang bersifat numerik, untuk melakukan pengendalian (kontrol) terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh dan juga dapat digunakan untuk melakukan prediksi pada variabel terikat (Tawa dkk, 2018).

Menurut Rohman (2018) rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y = a + bX \quad (3.2)$$

di mana Y adalah variabel pengikatan, X adalah variabel bebas (massa adsorben), a adalah nilai konstanta, dan b adalah nilai koefisien regresi. Penelitian ini juga menggunakan analisis korelasi. Tes korelasi bertujuan untuk menentukan hubungan antara hasil dua pengukuran atau antara dua variabel studi untuk menentukan tingkat hubungan antara variabel X dan Y. Ada dua cara untuk membuat keputusan dalam analisis korelasi.

1. Berdasarkan dari nilai signifikansi. Jika nilai signifikan $< 0,05$ maka adanya korelasi, sedangkan jika nilai signifikan $> 0,05$ maka tidak terdapat korelasi.
2. Berdasarkan tanda bintang (**). Tanda bintang dalam korelasi *Pearson* menunjukkan korelasi antara variabel analisis dan sebaliknya, dan tidak adanya tanda bintang dalam korelasi *Pearson* menunjukkan tidak ada korelasi antara variabel analisis. Selain menggunakan perangkat lunak SPSS, dapat juga

mengukur korelasi untuk menentukan nilai menggunakan dengan persamaan berikut:

$$r_{xy} = \frac{xy}{x^2 (y^2)}, \quad (3.3)$$



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Umum

Dalam penelitian ini menggunakan *fly ash* batubara sebagai alternatif adsorben untuk menurunkan polutan pada pengolahan air lindi di TPA Blang Bintang. Sebelumnya *fly ash* batubara dilakukan pengaktifan dengan larutan asam sulfat untuk membuka dan memperbesar pori-pori sehingga sangat berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Sebelum dilakukan pengolahan, sampel air lindi dianalisis terlebih dahulu untuk mengetahui kadar awal parameter BOD, COD, kadar logam Fe, Mn dan Zn seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Hasil uji tersebut dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor P.59 Tahun 2016 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2014 dan didapatkan hasil bahwa parameter pada air lindi di TPA Blang Bintang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan.

4.1.1. Hasil Uji Parameter Awal Air Lindi TPA Blang Bintang

Hasil dari analisis awal sampel air lindi berdasarkan parameter BOD, COD, kadar logam Fe, Mn dan Zn dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor P.59 Tahun 2016 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2014, air lindi bagian *outlet* TPA Blang Bintang terbukti masih tercemar dikarenakan nilai pengujian melebihi dari baku mutu yang telah ditetapkan.

Tabel 4. 1 Hasil Uji Pendahuluan Air Lindi di *Outlet* TPA Blang Bintang

No.	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa
1.	Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD)	mg/L	150	162
2.	Kebutuhan Oksigen Kimia (COD)	mg/L	300	1.405
3.	Fe	mg/L	5	6,8
4.	Mn	mg/L	2	2,1
5.	Zn	mg/L	5	5,03

(Sumber: Data Hasil Uji LTPKL-USK)

Maka untuk mengurangi konsentrasi polutan yang melebihi baku mutu parameter BOD, COD, kadar logam Fe, Mn dan Zn pada air lindi dilakukan proses pengolahan dengan metode adsorpsi agar aman untuk dibuang kembali ke

permukaan tanah. Proses adsorpsi akan dilakukan dengan menggunakan adsorben dari limbah *fly ash* batubara yang telah diaktifkan.

4.1.2. Hasil Uji Pengolahan Air Lindi Menggunakan Adsorben *Fly Ash* Batubara Setelah Pengaktifan

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pemanfaatan limbah *fly ash* batubara sebagai adsorben terhadap polutan pada air lindi TPA Blang Bintang, maka didapatkan data secara keseluruhan pada Tabel 4.2. Sebagai contoh, untuk perhitungan efektivitas penyerapan Fe pada massa 100 gram, dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas penyerapan \%} &= \frac{[x]_{\text{awal}} - [x]_{\text{akhir}}}{[x]_{\text{awal}}} \times 100\% \\ &= \frac{6,8 - 0,19}{6,8} \times 100\% \\ &= 97,20\% \end{aligned}$$

Dengan [x] awal adalah konsentrasi polutan sebelum dilakukan pengolahan dan [x] akhir adalah konsentrasi polutan setelah dilakukan pengolahan. Sehingga untuk penyerapan kadar logam Fe dengan massa 100 gram diperoleh efektivitas 97,20 %.

Tabel 4. 2 Hasil Penyerapan Polutan dengan Adsorben *Fly Ash* Batubara

No.	Parameter	Variasi Massa (Gram)	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	Efektivitas (%)
1.	BOD	35	162	157	3,08
		50	162	133	17,90
		65	162	93	42,60
		80	162	67	58,64
		100	162	35	78,39
2.	COD	35	1.405	1.322	5,90
		50	1.405	1.338	4,76
		65	1.405	1.301	7,40
		80	1.405	1.323	5,83
		100	1.405	1.197	14,80
3.	Fe	35	6,8	1,06	84,41
		50	6,8	1,68	75,30
		65	6,8	0,28	95,88
		80	6,8	0,34	95,00
		100	6,8	0,19	97,20

Lanjutan Tabel 4.2

No.	Parameter	Variasi Massa (Gram)	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	Efektivitas (%)
4.	Mn	35	2,1	1,49	29,04
		50	2,1	1,28	39,04
		65	2,1	0,45	78,57
		80	2,1	0,19	90,95
		100	2,1	0,04	98,09
5.	Zn	35	5,03	1,00	80,11
		50	5,03	0,96	80,91
		65	5,03	0,93	81,51
		80	5,03	1,29	74,35
		100	5,03	0,13	97,41

4.2. Pembahasan

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas menunjukkan hasil pengujian terhadap sampel air lindi yang mengandung polutan sebelum dilakukan pengolahan melebihi baku mutu. Menurut Prabowo dkk (2017) penyebab dari masalah tersebut adalah di Indonesia masih sedikit yang memiliki sarana dan prasarana dengan operasional yang baik dan optimal. Salah satunya adalah fasilitas pengolahan lindi yang sering kali terbengkalai dan tidak berjalan dengan optimal.

Penggunaan *fly ash* batubara sebagai adsorben untuk penurunan kadar polutan merupakan salah satu langkah alternatif dikarenakan selain mudah didapat namun juga sangat tergolong murah sebagai pengganti adsorben yang pernah digunakan sebelumnya, selain itu juga termasuk aplikasi untuk mengurangi hasil limbah padat yang dihasilkan oleh PLTU Nagan Raya. Menurut Prayudi (2009) menyatakan bahwa penggunaan adsorben dari *fly ash* batubara adalah langkah yang tepat karena dengan kemampuan yang efektif untuk pengolahan air limbah buangan rumah tangga untuk menghilangkan materi organik, warna dan logam berat termasuk contoh adsorben dari batubara muda dan serpihan kayu/*sawdust*.

4.2.1. Pengaruh Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Biological Oxygen Demand (BOD) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang

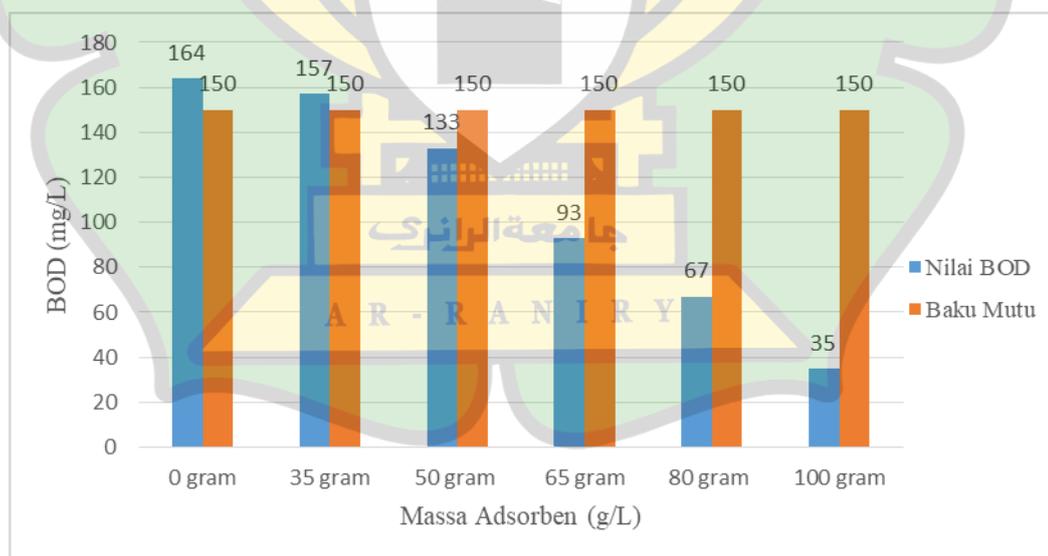
Hasil efektivitas kemampuan adsorben dari *fly ash* batubara menunjukkan penurunan yang sangat signifikan yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Hal ini didukung oleh hasil uji regresi linear sederhana yang menunjukkan variabel massa

adsorben berpengaruh terhadap penurunan polutan BOD (nilai sig 0,004 < nilai probabilitas 0,05). Keluaran analisis statistik regresi linear sederhana dapat dilihat lebih jelas pada Lampiran 8. Hasil ini menguatkan laporan Naldi & Lisha (2020) menyatakan bahwa penggunaan massa adsorben dapat menurunkan polutan pada air limbah dengan perlakuan semakin tinggi penambahan adsorben maka semakin meningkat penyisihan terhadap polutan.

Nilai awal parameter BOD pada air lindi TPA Blang Bintang yaitu 162 mg/L yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.59 tahun 2016 tentang baku mutu air lindi yaitu 150 mg/L seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan untuk pengaruh massa terhadap penurunan parameter BOD dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Parameter BOD Setelah Perlakuan dengan Adsorben *Fly Ash* Batubara

No.	Variasi Massa Adsorben (Gram)	Nilai Awal BOD	Nilai Akhir BOD	Baku Mutu
1.	0	162	164	150
2.	35	162	157	150
3.	50	162	133	150
4.	65	162	93	150
5.	80	162	67	150
6.	100	162	35	150



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai BOD

Berdasarkan pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pengaruh hubungan massa adsorben dapat meningkatkan penurunan kadar BOD seiring dengan

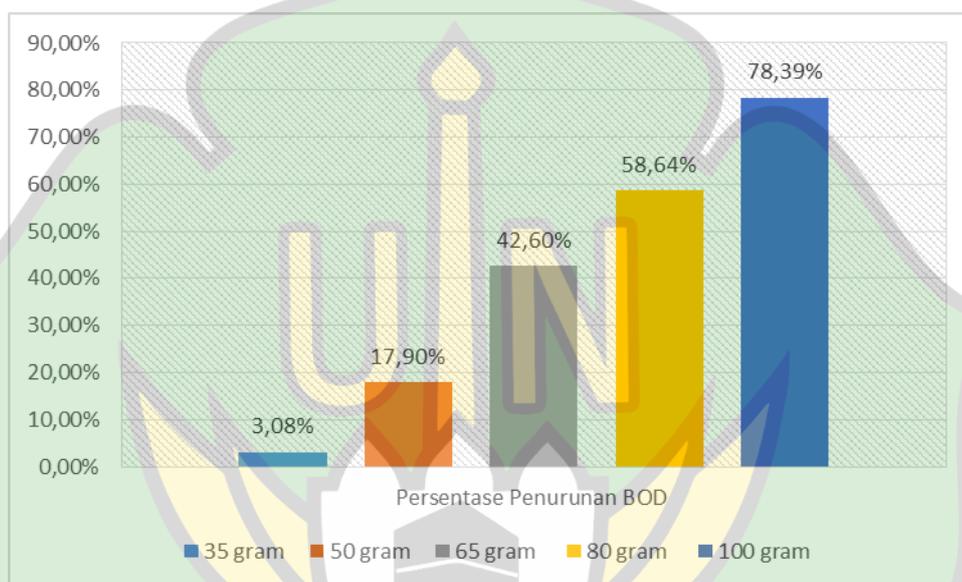
penambahan jumlah adsorben *fly ash* batubara. Untuk massa adsorben terendah yaitu 35 g/L dapat menurunkan BOD sebanyak 157 mg/L, penyisihan kadar langsung meningkat pada massa adsorben 50 g/L yaitu mampu menurunkan yaitu 133 mg/L. Peningkatan penyisihan dilanjutkan oleh massa adsorben berikutnya 65 g/L adalah 93 mg/L, tingginya penyisihan yang berlangsung dengan seiring bertambahnya massa adsorben ini menunjukkan kerja adsorben yang lebih baik pada penambahan jumlah adsorben.

Dengan jumlah massa adsorben yang rendah yaitu 35 g/L dan 50 g/L penyisihan menjadi kecil karena jumlah partikel adsorben yang minim sementara ia berada pada lingkungan adsorbat yang besar mengakibatkan banyaknya rongga yang mestinya masih dapat terisi oleh adsorben. Adanya ruang kosong ini memperkecil jumlah permukaan yang teradsorpsi sehingga penyisihan polutan tidak seoptimal dengan adsorben variasi massa 65 g/L, 80 g/L dan 100 g/L. Pada massa adsorben 35 g/L dan 50 g/L kapasitas penyerapan terjadi menjadi sangat efektif dengan hasil penyisihan yang termasuk tinggi karena di bawah baku mutu yang merupakan kondisi optimum bagi adsorben untuk dapat menyerap adsorbat. Sedangkan untuk massa yang lebih besar yaitu 65 g/L, 80 g/L dan 100 g/L mampu melakukan penyisihan sangat signifikan karena jumlah massa adsorben yang tinggi memperbanyak jumlah pori-pori untuk penyerapan kadar BOD ke permukaan adsorben.

Menurut Rosyida (2011) dari hasil penelitiannya juga memberikan penjelasan tentang kemampuan adsorben dari *fly ash* batubara yaitu dengan pembakaran batubara pada suhu tinggi (1100-1400 °C) menyebabkan kehilangan elemen pada batubara seperti bahan volatil air hidrat dan CO₂ dari mineral karbonat. Peristiwa inilah yang membuat *fly ash* memiliki pori-pori mikro yang jumlahnya lebih banyak daripada pori-pori makro yang berukuran lebih besar. Selain itu kandungan silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) pada *fly ash* dapat menarik dan mengadsorpsi senyawa pencemar dalam air limbah sehingga penurunan nilai BOD menjadi sangat optimal.

Dalam penelitian ini pada massa sampel 500 mg/L dan pengatur kecepatan maksimal 300 rpm dengan waktu kontak 60 menit memiliki penurunan yang efektif pada massa 100 g/L dengan penyerapan kandungan BOD sebesar 78,39%, perbedaan massa adsorben *fly ash* batubara memberikan pengaruh pada penurunan

parameter BOD karena adanya proses adsorpsi. Untuk grafik persentase kemampuan adsorben dalam menurunkan parameter BOD dapat dilihat pada Gambar 4.2. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 59 tahun 2016 tentang baku mutu air lindi TPA, ambang batas kadar BOD adalah sebesar 150 mg/L. Kadar BOD pada air lindi setelah pengolahan dengan menggunakan adsorben *fly ash* batubara didapatkan hasil yang optimum yaitu sebesar 36 mg/L pada massa adsorben 100 g/L. Hasil ini berarti sudah memenuhi baku mutu air lindi TPA yang telah ditetapkan.



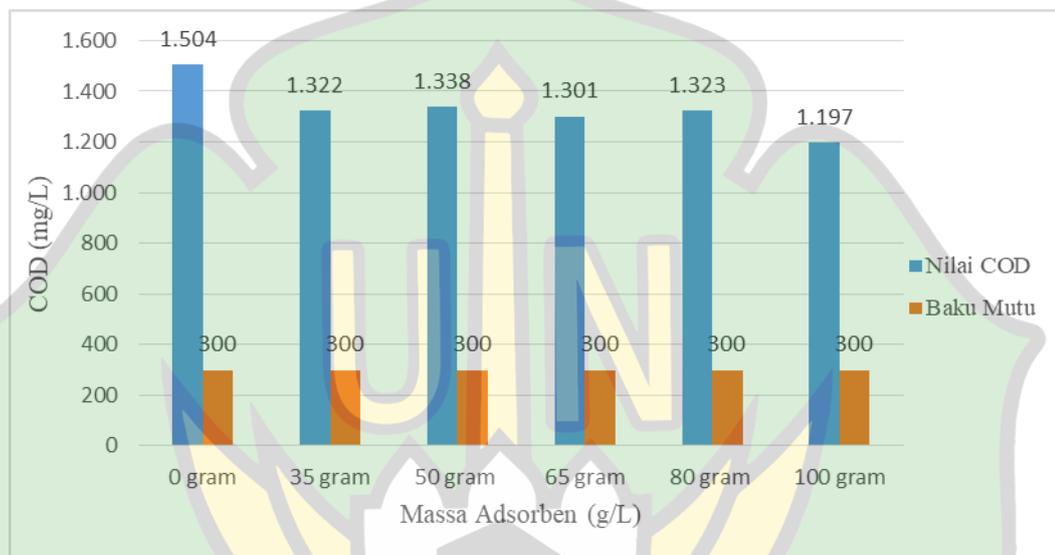
Gambar 4. 2 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan BOD

4.2.2. Pengaruh Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang

Pada Tabel 4.1 menunjukkan konsentrasi awal parameter COD 1.405 mg/l yang melebihi baku mutu dan tidak sesuai dengan ketentuan dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.59 tahun 2016 tentang batas kadar yang boleh dibuang setelah pengolahan yaitu 300 mg/l. Selanjutnya setelah perlakuan dapat dilihat hasil pada Tabel 4.4, kandungan COD semakin mengalami proses penurunan dan kenaikan dengan seiring bertambahnya massa adsorben dan grafik pengaruh massa adsorben *fly ash* batubara terhadap penurunan kadar polutan dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Parameter COD Setelah Perlakuan dengan Adsorben *Fly Ash* Batubara

No.	Variasi Massa Adsorben (Gram)	Nilai Awal COD	Nilai Akhir COD	Baku Mutu
1.	0	1.405	1.504	300
2.	35	1.405	1.322	300
3.	50	1.405	1.338	300
4.	65	1.405	1.301	300
5.	80	1.405	1.323	300
6.	100	1.405	1.197	300

Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai COD

Berdasarkan grafik Gambar 4.3 diketahui bahwa parameter COD mengalami penurunan dan kenaikan dengan penambahan variasi massa adsorben *fly ash* batubara. Proses penurunan dan kenaikan pada COD dari air lindi memiliki perbedaan tergantung dari jumlah massa adsorben yang ditambahkan. Pada massa adsorben 35 g/L parameter COD berada pada kadar 1.322 mg/L dan mengalami kenaikan pada massa 50 g/L menjadi 1.338 mg/L. Selanjutnya penyisihan tetap berlanjut dimana pada massa 65 g/L parameter COD mengalami penurunan nilai kembali menjadi 1.301 mg/L, kemudian mengalami penurunan nilai yang sangat signifikan pada massa 100 g/L menjadi 1.197 mg/L. Hal ini dipengaruhi karena konsentrasi COD pada air lindi 500 ml masih sangat besar dan tidak sebanding dengan jumlah massa yang diuji, sehingga permukaan adsorben tidak kuat untuk menyerap dan menampung semua secara keseluruhan dan mengakibatkan proses

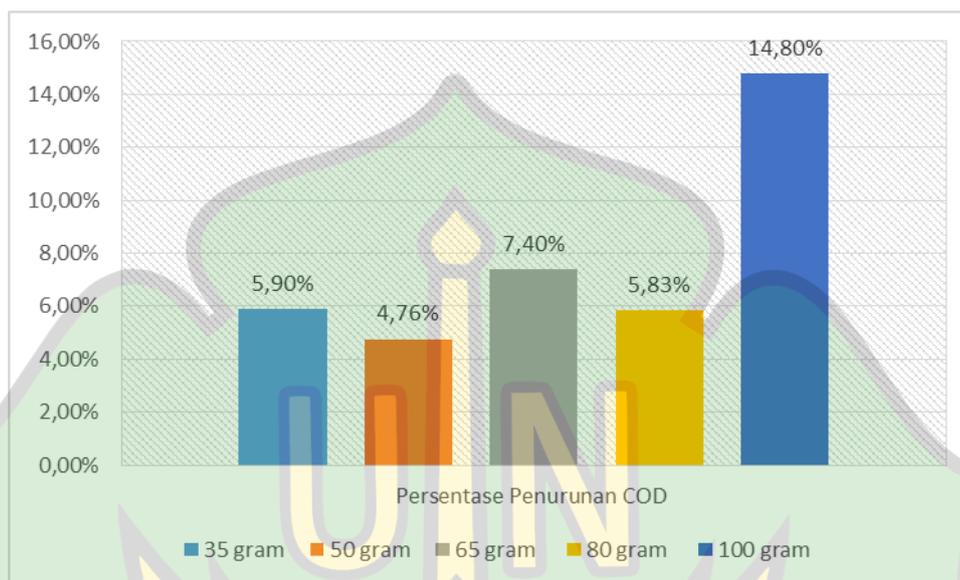
adsorpsi tidak maksimal dan mengalami kejenuhan. Secara analisis yang dilakukan dengan menggunakan linear sederhana menunjukkan bahwa adanya pengaruh yang dihasilkan oleh adsorben karena nilai sig dibawah nilai probabilitas yaitu ($0,011 < 0,05$) Untuk keluaran hasil uji statistik linear sederhana dapat dilihat lebih jelas pada Lampiran 8. Artinya untuk menurunkan kadar COD dibutuhkan massa adsorben yang lebih tinggi daripada batas optimum 100 g/L.

Menurut Cahyono & Tuhu (2012) menyatakan bahwa penyebab kenaikan dan penurunan pada proses penyerapan COD juga dipengaruhi oleh massa dan waktu pengadukan yang menjadi faktor penting karena semakin lama waktu pengadukan dalam adsorpsi maka persentase penyisihan COD semakin meningkat. Dikarenakan pada proses ini menggunakan waktu dan kecepatan tunggal yaitu 300 RPM/60 dapat dijelaskan bahwa waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat berangsur lama, maka kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi semakin besar sehingga banyak senyawa COD yang teradsorpsi. Itu terlihat pada massa adsorben 100 g/L yang mampu menurunkan nilai COD lebih banyak daripada variasi massa sebelumnya, faktor penyebabnya adalah penambahan massa adsorben akan meningkatkan jumlah total luas permukaan dan jumlah pori yang digunakan untuk mengikat adsorbat dalam proses adsorpsi. Dan sebaliknya kemampuan adsorben dalam menyisihkan COD mengalami pelemahan yang ditunjukkan pada massa 50 g/L dan 80/L dikarenakan *fly ash* sudah jenuh dan sudah mencapai batas optimum dalam penyerapan. Hal ini juga disebabkan oleh pori-pori media *fly ash* yang berkurang kemampuannya dalam menyerap COD dikarenakan pada waktu penyerapan sebelumnya pori-pori *fly ash* tertutup oleh setiap lapisan molekul yang terbentuk dan menghalangi lapisan permukaan sebelumnya.

Hal ini juga seperti yang dipaparkan oleh Rosariawari (2008) pada penelitiannya yang menyatakan bahwa proses adsorpsi akan semakin baik jika massa dan waktu kontaknya ditingkatkan. Waktu kontak menjadi faktor penting karena sebagai penentu dalam proses adsorpsi, dan waktu kontak juga diperlukan untuk mencapai nilai optimal meskipun tidaklah sama untuk setiap proses adsorpsi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 59 tahun 2016 tentang baku mutu air lindi dengan ambang batas yang dibolehkan kadar COD adalah sebesar 300 mg/L. Kadar COD air lindi TPA Blang Bintang setelah

pengolahan menggunakan adsorben dari *fly ash* batubara didapatkan hasil yang optimum 1.197 mg/L pada massa adsorben 100 g/L dengan efektivitas penyerapan sebesar 14,8% yang menunjukkan penyerapan yang terjadi sangat lambat dan tidak optimal. Untuk grafik persentase kemampuan adsorben dalam menurunkan parameter BOD dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan COD

4.2.3. Pengaruh Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Besi (Fe) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang

Berdasarkan pada Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa parameter Fe menunjukkan nilai di atas baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 tahun 2014 yang menandakan bahwa air lindi masih terindikasi pencemar sehingga perlu dilakukan pengolahan. Setelah pengolahan dengan adsorben *fly ash* batubara zat pencemar Fe mengalami penurunan seperti pada Tabel 4.5 seiring dengan bertambahnya massa adsorben, dan untuk pengaruh massa terhadap penurunan polutan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

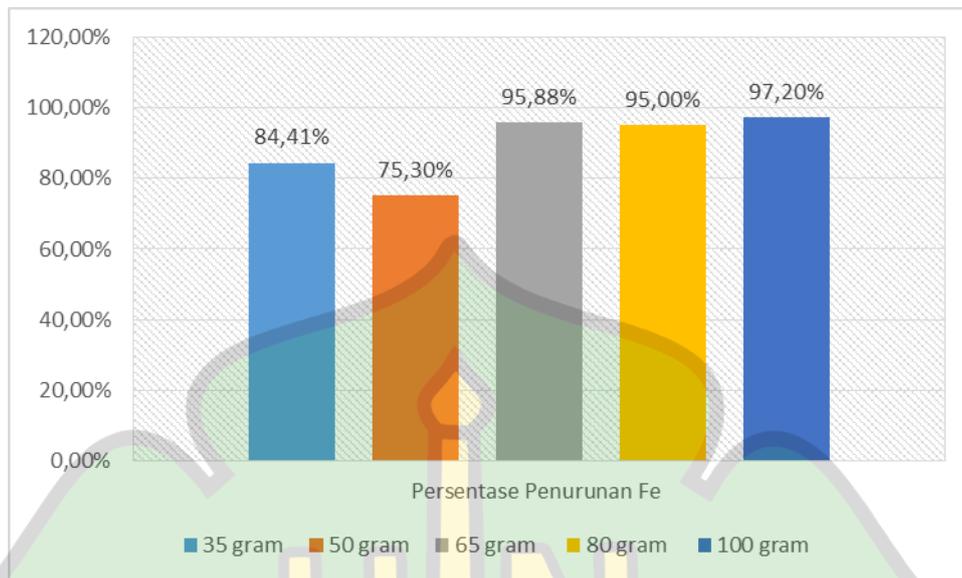
Tabel 4. 5 Hasil Uji Parameter Fe Setelah Perlakuan dengan Adsorben *Fly Ash* Batubara

No.	Variasi Massa Adsorben (Gram)	Nilai Awal Fe	Nilai Akhir Fe	Baku Mutu
1.	0	6,80	6,60	5,00
2.	35	6,80	1,06	5,00
3.	50	6,80	1,68	5,00
4.	65	6,80	0,28	5,00
5.	80	6,80	0,34	5,00
6.	100	6,80	0,19	5,00

Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Fe

Berdasarkan data dari Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa nilai Fe pada kontrol adalah 6,6 mg/L dan terjadi proses penurunan pada massa adsorben 35 g/L dengan penyerapan menjadi 1,06 mg/L, namun nilai Fe mengalami kenaikan kembali pada massa 50 g/L dengan nilai 1,68 mg/L dan massa 80 g/L adalah 0,34 mg/L yang menandakan bahwa pada proses tersebut adanya kejenuhan yang disebabkan oleh adsorben dan menyebabkan tidak optimal dalam penyerapan polutan. Sedangkan pada massa adsorben 65 g/L mampu menurunkan nilai Fe menjadi 0,28 mg/L dan massa 100 g/L adalah 0,19 mg/L. Kenaikan dan penurunan kadar Fe bervariasi dengan penambahan massa adsorben *fly ash* batubara karena konsentrasi Fe yang terserap pada permukaan adsorben lebih besar dibandingkan konsentrasi yang tersisa dalam larutan. Menurut Irawan dkk (2015), menyatakan perbedaan konsentrasi tersebut disebabkan oleh ion Fe^{2+} yang sudah terikat pada

adsorben *fly ash* batubara mengalami teradsorpsi kembali ke dalam larutan sehingga penyisihan menjadi tidak optimal.



Gambar 4. 6 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan Fe

Pada Gambar 4.6 di atas terlihat bahwa, terjadi variasi kenaikan dan penurunan persentase kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi polutan Fe yang didukung dengan hasil regresi linear sederhana yang menunjukkan nilai sig ($0,029 < 0,05$). Untuk keluaran hasil uji statistik linear sederhana dapat dilihat lebih jelas pada Lampiran 8, yang berarti adanya hubungan antara kemampuan adsorben terhadap penurunan kadar Fe. Pada massa 35 g/L tingkat persentase penyerapan Fe berada pada kemampuan 84,41% namun terjadi penurunan kemampuan pada massa 75,30% karena pada massa 50 g/L adsorben mengalami kejenuhan dalam penyerapan yang dipengaruhi oleh ion Fe^{2+} yang terkandung dalam adsorben. Pada massa 65g/L, 80 g/L mengalami kenaikan kemampuan kembali yang mencapai optimum pada massa 100 g/L dengan persentase 97,20% dikarenakan aktivasi *fly ash* batubara dengan larutan asam memberikan perubahan terhadap perbandingan silika dan alumina. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi memberikan dampak positif terhadap struktur mineral pada adsorben *fly ash* batubara. Kenaikan persentase pada massa 65 g/L, 80 g/L dan 100 g/L juga disebabkan oleh kandungan silika pada adsorben yang ditunjukkan dengan lepasnya ikatan silika yang akan membuka permukaan adsorben menjadi terbuka.

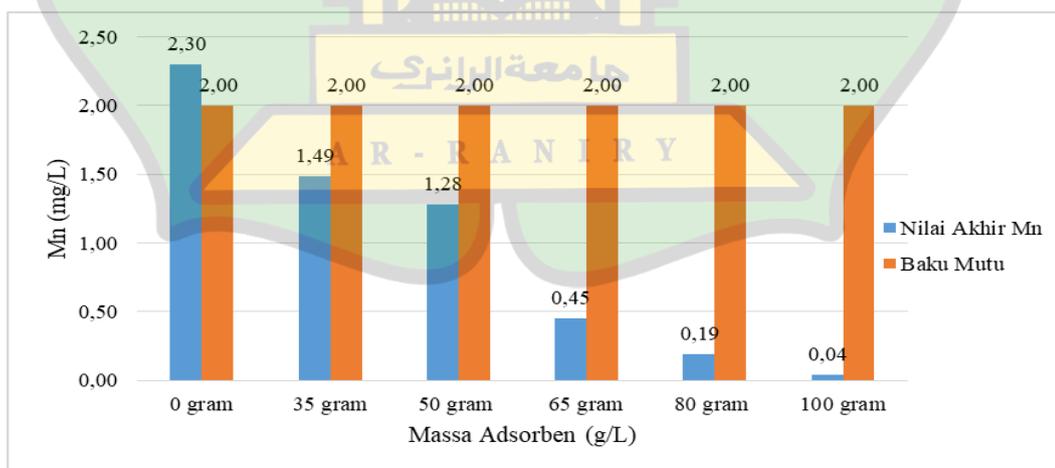
Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 tahun 2014 tentang baku mutu air lindi dengan ambang batas 5 mg/L. Kadar Fe pada air lindi setelah pengolahan menggunakan adsorben *fly ash* batubara didapatkan bahwa dapat menurunkan dengan hasil optimum yaitu sebesar 0,19 mg/L pada massa 100 g/L dengan efektivitas penyerapan 97,20%. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai Fe dibawah baku mutu yang telah ditetapkan.

4.2.4. Pengaruh Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Mangan (Mn) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang

Berdasarkan Tabel 4.1 nilai awal kadar Mn sebelum pengolahan melewati baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 yaitu 2,1 mg/L dari ambang batas yang dibolehkan adalah 2 mg/L. Hasil setelah pengolahan menggunakan adsorben dari *fly ash* batubara dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan untuk hasil pengaruh massa adsorben terhadap penurunan kadar Mn dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Parameter Mn Setelah Perlakuan dengan Adsorben *Fly Ash* Batubara

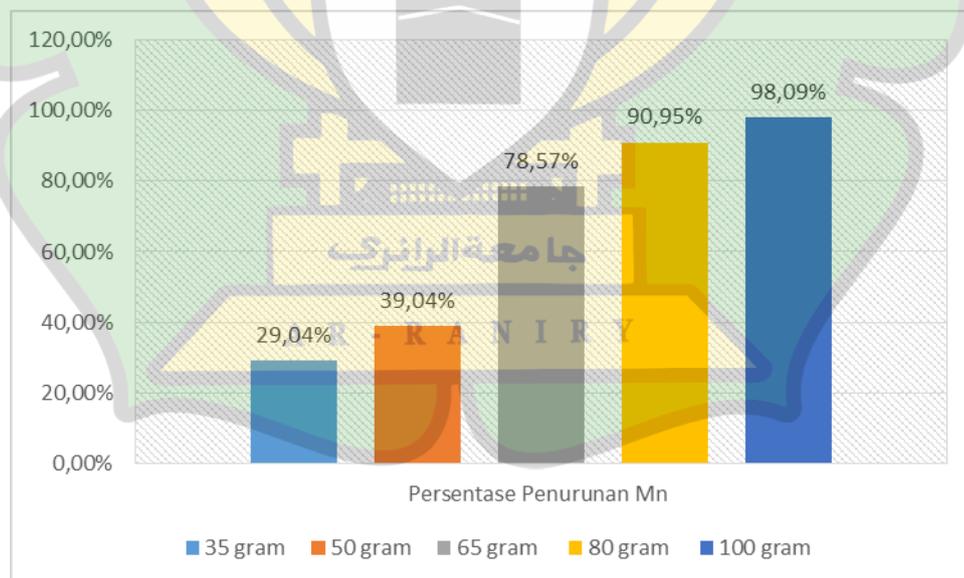
No.	Variasi Massa Adsorben (Gram)	Nilai Awal Mn	Nilai Akhir Mn	Baku Mutu
1.	0	2,1	2,30	2,00
2.	35	2,1	1,49	2,00
3.	50	2,1	1,28	2,00
4.	65	2,1	0,45	2,00
5.	80	2,1	0,19	2,00
6.	100	2,1	0,04	2,00



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Mn

Berdasarkan data pada Gambar 4.7, adsorben dari *fly ash* batubara berhasil menurunkan konsentrasi Mn dari konsentrasi awal 2,1 mg/L menjadi 1,49 mg/L pada massa 35 g/L pertama dengan efektivitas 29,04%. Selanjutnya konsentrasi Mn mengalami penurunan pada massa 50 g/L menjadi 1,28 mg/L dengan efektivitas 39,04% namun tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena pada massa pertama dan kedua tersebut masih tergolong rendah dengan nilai persentase penyerapan dibawah 50% yang menyebabkan pori-pori adsorben tersebut terisi oleh Mn dan mengalami kejenuhan dan penyerapannya tidak lagi optimal.

Kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan penyisihan pada massa 65 g/L menjadi 0,45 mg/L dan seterusnya dengan perbedaan nilai penyisihan sekitar 0,26 mg/L per massa adsorben. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan massa adsorben *fly ash* batubara maka semakin meningkatkan kemampuan adsorben untuk menyerap polutan. Ini juga menguatkan laporan penelitian oleh Supraptiah dkk (2019) yaitu pengaruh massa adsorben *fly ash* batubara yang telah diaktifkan dengan larutan asam sulfat adalah karena bertambahnya luas permukaan aktif dari adsorben sehingga proses penyerapan menjadi efektif yang mengakibatkan bertambahnya daya serap pada nilai Mn dibandingkan dengan menggunakan larutan aktivator HCl.



Gambar 4. 8 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan Mn

Setelah penambahan massa tinggi dari 65 g/L, 80 g/L dan 100 g/L persentase penyerapan ion logam Mn mengalami kenaikan dengan batas optimal 98,09% yang

berarti semakin tinggi massa yang diberikan menjadi peluang untuk adsorben meningkatkan kemampuannya dalam penyerapan ion logam khususnya Mn dengan didukung oleh hasil uji regresi linear sederhana menunjukkan variabel massa berpengaruh terhadap adsorpsi Mn (nilai sig $0,001 < 0,05$). Hasil ini menguatkan Risna (2019) yang menyatakan bahwa kandungan Mn mengalami penurunan dengan menggunakan penyaringan dari batubara dan kombinasi tempurung kemiri dengan penurunan sekitar 69,38%. Karena pada batubara adalah batuan sedimen yang terbentuk secara kimia dan fisika yang heterogen dan mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen dan oksigen sebagai unsur utama dan unsur tambahan adalah belerang.

Peningkatan kemampuan adsorben *fly ash* batubara dipengaruhi juga oleh permukaan material yang memiliki diameter yang lebih kecil yaitu dengan ukuran penyaringan 100 mesh yaitu dengan ukuran partikel $149 \mu\text{m}$ sehingga mempunyai tingkat penyerapan lebih besar dibandingkan dengan diameter adsorben yang lebih besar. Hal ini menyangkut luas area permukaan adsorben yang tersedia untuk dapat berinteraksi dengan substansi yang terdapat pada larutan. Menurut Afrianita & Dewilda (2013) juga menyatakan penyerapan dari material yang mempunyai ukuran partikel lebih kecil dapat mengadsorpsi substansi lebih banyak bila dibandingkan dengan partikel berukuran lebih besar.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, ambang batas kadar Mn adalah sebesar 2 mg/L. Kadar Mn air lindi setelah dilakukan pengolahan menggunakan adsorben *fly ash* batubara didapatkan hasil yang optimum sebesar 0,04 mg/L pada massa adsorben 100 g/L dengan efektivitas penyerapan sebesar 98,09%. Dari data tersebut menunjukkan bahwa pemakaian adsorben *fly ash* batubara lebih besar menurunkan kandungan Mn pada air lindi dengan nilai dibawah baku mutu yang telah ditetapkan.

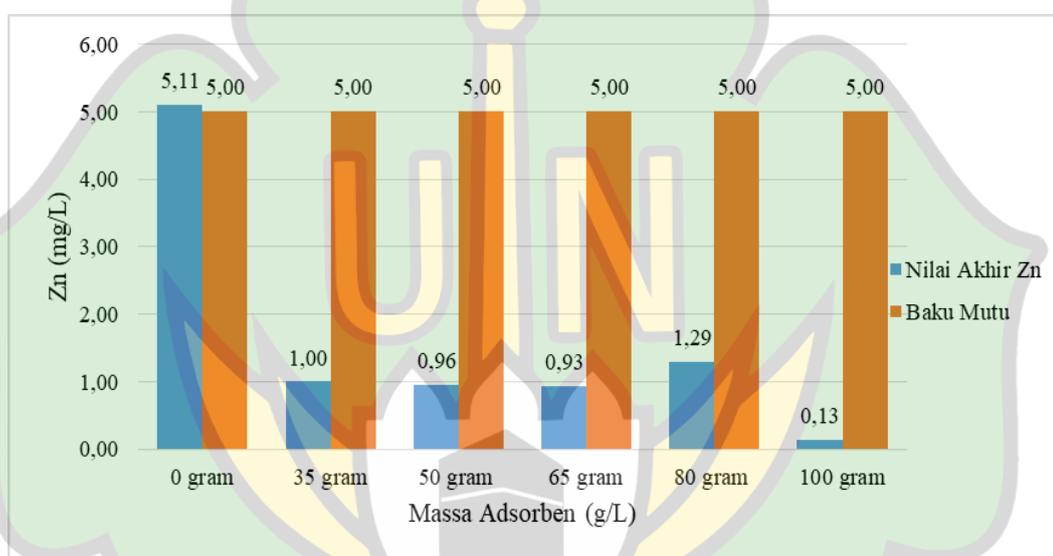
4.2.5. Pengaruh Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Seng (Zn) Pada Air Lindi TPA Blang Bintang

Berdasarkan pada Tabel 4.1 nilai awal konsentrasi Zn melewati baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 tahun 2014 sebelum dilakukan pengolahan sebesar 5,03 mg/L. Hasil uji parameter Zn dapat dilihat pada Tabel 4.7 yang setelah pengolahan menggunakan adsorben *fly ash*

batubara dan grafik hubungan pengaruh massa adsorben terhadap penurunan nilai Zn terdapat pada Gambar 4.9.

Tabel 4. 7 Hasil Uji Parameter Zn Setelah Perlakuan dengan Adsorben *Fly Ash* Batubara

No.	Variasi Massa Adsorben (Gram)	Nilai Awal Zn	Nilai Akhir Zn	Baku Mutu
1.	0	5,03	5,11	5,00
2.	35	5,03	1,00	5,00
3.	50	5,03	0,96	5,00
4.	65	5,03	0,93	5,00
5.	80	5,03	1,29	5,00
6.	100	5,03	0,13	5,00

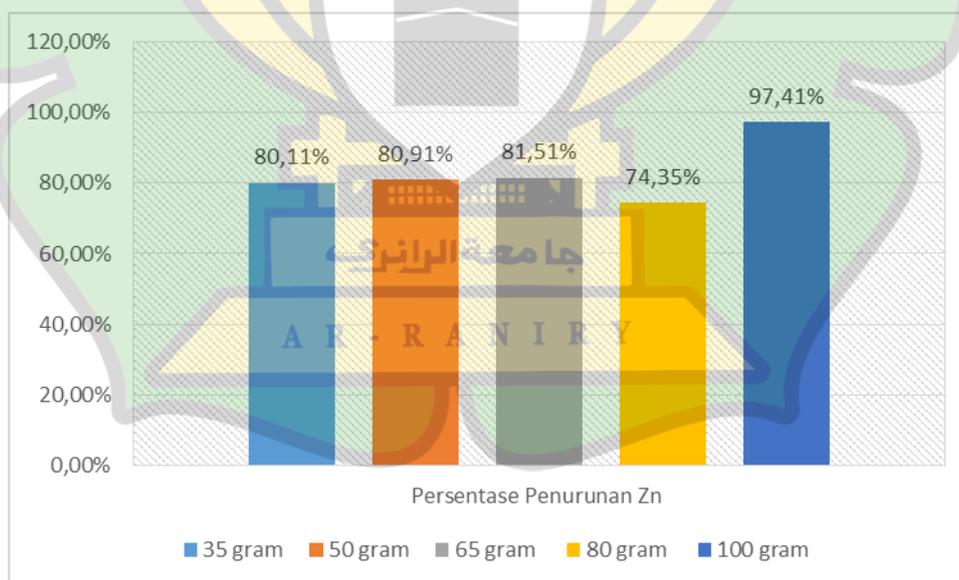


Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Massa Adsorben *Fly Ash* Batubara Terhadap Perubahan Nilai Zn

Berdasarkan data pada Gambar 4.9 konsentrasi Zn mengalami penurunan dan kenaikan seiring dengan penambahan massa adsorben *fly ash* batubara. Penurunan dan kenaikan kadar Zn dari air lindi memiliki perbedaan tergantung dari massa adsorben yang ditambahkan. Dalam volume 500 ml larutan, massa adsorben 35 g/L mampu menurunkan kadar Zn menjadi 1 mg/L dengan efektivitas 80,11%. Proses adsorpsi selanjutnya terjadi penurunan menjadi 0,96 mg/L dengan efektivitas 80,91% pada massa 50 g/L. Hal tersebut juga sama terjadi pada massa 65 g/L, dimana penyisihan kadar Zn turun menjadi 0,93 mg/L dengan efektivitas sebesar 81,51%. Pada massa 80 gr/L konsentrasi Zn mengalami kenaikan menjadi 1,29 mg/L hal ini bisa disebabkan oleh pengaruh waktu kontak dan faktor luar seperti adanya zat yang dapat mengganggu pada proses pemeriksaan sampel. Karena

menurut Naldi & Lisha (2020) menyatakan semakin tinggi penambahan massa adsorben *fly ash* batubara maka semakin tinggi angka penyisihan yang dilakukan, tetapi jika semakin lama waktu kontak antara limbah dengan adsorben menyebabkan adsorben mencapai tingkat kejenuhannya sehingga daya serap terhadap polutan akan semakin menurun.

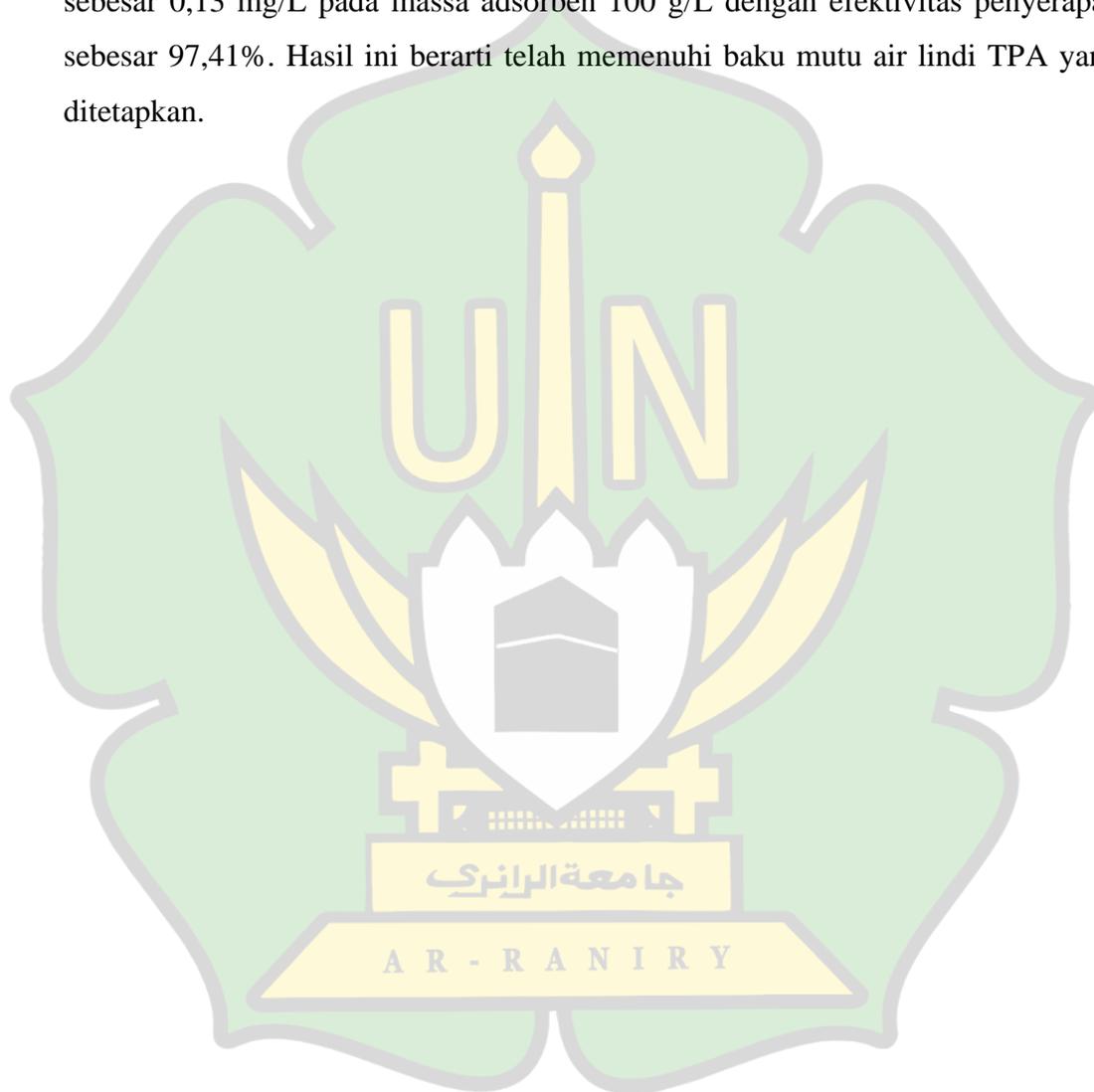
Pada massa 100 g/L adsorben *fly ash* batubara mampu menurunkan konsentrasi Zn menjadi 0,13 mg/L dengan efektivitas 97,41% sehingga menguatkan penelitian dari Naldi & Lisha bahwa semakin tinggi massa yang ditambahkan akan meningkatkan kemampuan adsorben dalam menurunkan kadar polutan. Dengan pengaktifan juga mampu meningkatkan kemampuan *fly ash* batubara selain membuka pori-pori pada permukaan partikel, juga menurut Faradilla dkk (2016) menyatakan bahwa dengan aktivasi meningkatkan kandungan silika (Si) dan menurunkan kandungan aluminium (Al) yang berarti rasio Si/Al meningkat. Semakin besar rasio Si/Al maka adsorben bersifat hidrofobik, artinya pori-pori pada adsorben lebih tidak suka air (cenderung kering), maka adsorben memiliki daya adsorpsi tinggi pada senyawa karbon dan logam. Selain itu rasio Al/Si yang tinggi menyebabkan adsorben memiliki lebih banyak pusat aktif dengan keasaman tinggi dalam melakukan adsorpsi.



Gambar 4. 10 Grafik Persentase Kemampuan Adsorben Terhadap Penurunan Zn

Dengan nilai persentase penyerapan dari adsorben *fly ash* batubara diatas menunjukkan bahwa penggunaan tersebut mampu dan efektif terhadap penurunan kadar Zn pada air lindi TPA Blang Bintang. Hasil ini juga didukung dengan

mengukur kemampuan adsorben dengan regresi linear sederhana dengan hasil (nilai sig $0,043 < 0,05$) yang berarti adanya pengaruh dari penambahan massa adsorben terhadap penurunan kadar Zn. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, ambang batas kadar Zn adalah sebesar 5 mg/L. Kadar Zn pada air lindi TPA Blang Bintang setelah pengolahan menggunakan adsorben *fly ash* batubara didapatkan hasil yang optimum yaitu sebesar 0,13 mg/L pada massa adsorben 100 g/L dengan efektivitas penyerapan sebesar 97,41%. Hasil ini berarti telah memenuhi baku mutu air lindi TPA yang ditetapkan.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* batubara sebagai adsorben pada air lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Efektivitas penurunan parameter pada pengolahan air lindi TPA Blang Bintang dengan adsorben *fly ash* batubara sangat baik karena dari data yang didapatkan menunjukkan penurunan dengan secara signifikan seperti BOD (78,39%), COD (14,80%), Fe (97,20%), Mn (98,09%), dan Zn (97,41%).
2. Massa optimum adsorben *fly ash* batubara untuk penurunan parameter pada air lindi TPA Blang Bintang adalah di 100 g/L dengan nilai akhir BOD (35 mg/L), Fe (0,19 mg/L), Mn (0,04 mg/L), Zn (0,13 mg/L) yang sesuai dengan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 59 tahun 2016 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 tahun 2014. Sedangkan nilai COD tetap melebihi baku mutu setelah perlakuan.

5.2 Saran

Adapun saran dan masukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif dalam pemanfaatan *fly ash* batubara yang dihasilkan oleh PLTU Nagan Raya.
2. Diperlukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan efektivitas kemampuan adsorben terhadap polutan COD dalam pengolahan air lindi TPA Blang Bintang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, R., & Dewilda, Y. (2013). Efisiensi dan Kapasitas Penyerapan Fly Ash sebagai Adsorben dalam Penyisihan Logam Timbal (Pb) Limbah Cair Industri Percetakan di Kota Padang. *Jurnal Dampak*, 10(1), 1-10.
- Afrianita, R., & Dewilda, Y. (2013). Studi penentuan kondisi optimum fly ash sebagai adsorben dalam menyisihkan logam berat kromium (Cr). *Jurnal Dampak*, 10(2), 104-110.
- Akbar, R. (2016). Analisa Kelayakan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Kelurahan Gampong Jawa, Banda Aceh Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Etd Unsyiah*.
- Aluko, O. O., Sridhar, M. K., & Oluwande, P. A. (2003). Characterization of leachates from a municipal solid waste landfill site in Ibadan, Nigeria. *Journal of Environmental Health Research*, 2(1), 32-37.
- Anrozi, R., & Trihadiningrum, Y. (2017). Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), F445-F450.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Aceh Besar Tahun 2019
- Cahyono, A. D., & Tuhu Agung, R. (2012). Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben dalam Penyisihan COD dari Limbah Cair Domestik Rumah Susun Wonorejo Surabaya. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4(1), 1-9.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). Pengelolaan sampah. *Diktat kuliah TL, 3104*, 5-10.
- Damayanti, R. (2018). Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(3), 213-231.
- Damayanti, R., Untung, S. R., & Sahminan, S. (2004). Pengujian abu terbang/fly ash (limbah B3 dalam PP No, 85/1999). *Mineral dan Batubara*, 2(2), 29-34.
- Darmayanti, L., Notodarmodjo, S., & Damanhuri, E. D. E. (2018). Penyisihan Logam Cu (II) Dari Larutan Dengan Fly Ash Batu Bara. *Neo Teknika*, 4(1).

- Fadhilah, I., & Fitria, L. (2020). Analisis Kadar Kadmium dan Beberapa Parameter Kunci pada Air Lindi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang Tahun 2018. *Jurnal Nasional Kesehatan Lingkungan Global*, 1(1).
- Faradilla, A. R., Yulinawa, H., & Suswantoro, E. (2016, August). Pemanfaatan fly ash sebagai adsorben karbon monoksida dan karbon dioksida pada emisi kendaraan bermotor. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL CENDEKIAWAN* (pp. 2-1).
- Fitriana, I., & Niode, N. (2017). Outlook Energi Indonesia 2017: Inisiatif Pengembangan Teknologi Energi Bersih. *Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia. Jakarta*.
- Hsu, T. C., Yu, C. C., & Yeh, C. M. (2008). Adsorption of Cu^{2+} from water using raw and modified coal fly ashes. *Fuel*, 87(7), 1355-1359.
- Hutomo, N. T. (2012). Analisa Karakter Timbulan Lindi (pH, COD, BOD dan TSS) Dari Berbagai Umur Sampah Perkotaan Menggunakan Kolom Landfill Secara Seri.
- Irawan, C., Dahlan, B., & Retno, N. (2015). Pengaruh massa adsorben, lama kontak dan aktivasi adsorben menggunakan HCl terhadap efektivitas penurunan logam berat (Fe) dengan menggunakan abu layang sebagai adsorben. *JIT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 3(2).
- Irhamni, I. (2017). Serapan logam berat esensial dan non esensial pada air lindi TPA kota Banda Aceh dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Serambi Engineering*, 2(1).
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2016). Efektivitas adsorpsi logam berat pada air lindi menggunakan media karbon aktif, zeolit, dan silika gel di TPA Tlekung, Batu. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2(1), 44-48.
- Malita, Y. A., & Mufit, F. (2015). Karakterisasi mineral magnetik lindi (leachate) TPA Air Dingin Kota Padang menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM)(Characterization of magnetic leachate mineral at TPA Air Dingin Padang City using Scanning Electron Microscopy (SEM)). *PILLAR OF PHYSICS*, 5(1).

- Maramis, A. A., Kristijanto, A. I., & Notosoedarmo, S. (2006). Sebaran Logam Berat dan Hubungannya dengan Faktor Fisiko-Kimiawi di Sungai Kreo, Dekat Buangan Air Lindi TPA Jatibarang, Kota Semarang. *Akta Kimindo*, 1(2), 93-98.
- Metcalf, L., Eddy, H. P., & Tchobanoglous, G. (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse* (Vol. 4). New York: McGraw-Hill.
- Mufrodi, Z., Widiastuti, N., & Kardika, R. C. (2008). Adsorpsi zat warna tekstil dengan menggunakan abu terbang (fly ash) untuk variasi massa adsorben dan suhu operasi. In *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*.
- Munawar, A. (2011). Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan.
- Naldi, F. S., & Lisha, S. Y. (2020). Pemanfaatan Limbah Fly Ash Sebagai Adsorben Logam Fe Pada Limbah Cair. *Jurnal Aerasi*, 2(2), 48-53.
- Natawijaya, D., & Meylani, V. (2020). Analisis Struktur Sampah Dan Komposisi Kimia Limbah Cair (Leachate) Di Tempat Pengolahan Sampah Akhir (Tpsa) Ciangir Kota Tasikmalaya. *Media Pertanian*, 5(1).
- Novia, N., Athiyah, U., & Susanty, E. (2010). Pembuatan Adsorben dari Fly Ash Hasil Pembakaran Batubara untuk Mengadsorpsi Logam Besi (Fe). *Jurnal Teknik Kimia*, 17(4).
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah
- Prabowo, Z. N., Rezagama, A., & Hadiwidodo, M. (2017). *Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi dengan kombinasi biokoagulan sodium Alginat-koagulan Al₂SO₄ dan acvanded oxidation Processes (AOPs) dengan fenton (Fe/H₂O₂)* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Prayudi, T. R. (2009). Keefektifan Pengolahan Antara Abu Terbang dengan Karbon Aktif Terhadap Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK), Warna dan Logam Berat Air Lindi Sampah. *Jurnal Permukiman*, 4(2), 139-147.

- Puspitarini, R., SN, A. K., & Winarno, H. (2018). Pengaruh Ukuran Partikel, Zat Aktivator, Waktu Aktivasi dan Waktu Serap Adsorben Fly Ash untuk Mendegradasi Logam Timbal (Pb) pada Air Lindi. *Proceeding of The URECOL*, 75-86.
- Risna, F. (2019). *Kinerja Kolom Adsorpsi Konfigurasi Seri Menggunakan Adsorben Batu Apung Sungai Pasak Pariaman Untuk Penyisihan Logam Kromium (Cr) Dan Merkuri (Hg) Dari Larutan Simulasi Air Tanah* (Doctoral Dissertation, Universitas Andalas).
- Rohman, T. (2018). *Pengaruh Kepemimpinan dan Motivasi Kerja terhadap Karyawan di BPR Artahuda Mandiri Margoyoso Pati*. Skripsi. Semarang. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Rosariawari, F. (2008). penurunan konsentrasi limbah deterjen menggunakan furnace bottom ash (FBA). *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 4(3), 1-12.
- Rosihan, A., & Husaini, H. (2017). Logam berat sekitar manusia.
- Rosyida, A. (2011). Bottom ash limbah batubara sebagai media filter yang efektif pada pengolahan limbah cair tekstil. *Jurnal Rekayasa Proses*, 5(2), 56-61.
- Royani, S., Fitriana, A. S., Enarga, A. B. P., & Bagaskara, H. Z. (2021). KAJIAN COD DAN BOD DALAM AIR DI LINGKUNGAN TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) SAMPAH KALIORI KABUPATEN BANYUMAS. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(1), 40-49.
- Sari, R. N., & Afdal, A. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 93-99.
- Sembiring, S. (2018). Perancangan Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Terjun Kecamatan Medan Marelan Kota Medan.
- Setiawati, M. (2018). Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton. *Prosiding Semnastek*.
- SNI 6989.59:2008. Tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah
- SNI 6989.72:2009. Tentang Pemeriksaan BOD
- SNI 6989.2:2009. Tentang Pemeriksaan COD
- SNI 6989.4:2009. Tentang Pemeriksaan Fe
- SNI 6989.5:2009. Tentang Pemeriksaan Mn

SNI 6989.7:2009. Tentang Pemeriksaan Zn

Sugiyono, P. D. (2017). *Metode Penelitian Bisnis: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, Kombinasi, dan R&D*. Penerbit CV. Alfabeta: Bandung.

Suhartini, S., & Nurika, I. (2018). *Teknologi Pengolahan Limbah Agroindustri*. Universitas Brawijaya Press.

Supraptiah, E., Ningsih, A. S., & Hilwatulisan, H. (2019). Kinetika Adsorpsi Mn dengan Memanfaatkan Bottom Ash Batubara pada Larutan Artifisial KMnO₄. *Prosiding SENIATI*, 220-227.

Tawa, B. D., Kale, A. R., Salim, S. H., & Selan, O. T. E. (2018). Pemodelan Regresi Berganda Pada Pemanfaatan Tanah Liat Dan Batu Karang Sebagai Adsorben Dalam Pengolahan Greywater. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(2), 75-85.

Thomas, R. A., & Santoso, D. H. (2019). Potensi Pencemaran Air Lindi Terhadap Airtanah Dan Teknik Pengolahan Air Lindi Di Tpa Banyuroto Kabupaten Kulon Progo. *Science Tech*, 5(2), 1-12.

Wahyuni, S., & Widiastuti, N. (2010). Adsorpsi Ion Logam Zn (II) Pada Zeolit A Batch. *Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

Wardani, S. P. R. (2008). Pemanfaatan limbah batubara (Fly Ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan.

Widiarti, I. W., & Muryani, E. (2020). Kajian kualitas air lindi terhadap kualitas air tanah di sekitar tpa (tempat pemrosesan akhir) sampah jetis, desa pakem, kecamatan gebang, purworejo, jawa tengah. *Jurnal Tanah Dan Air (Soil and Water Journal)*, 15(1), 1-9.

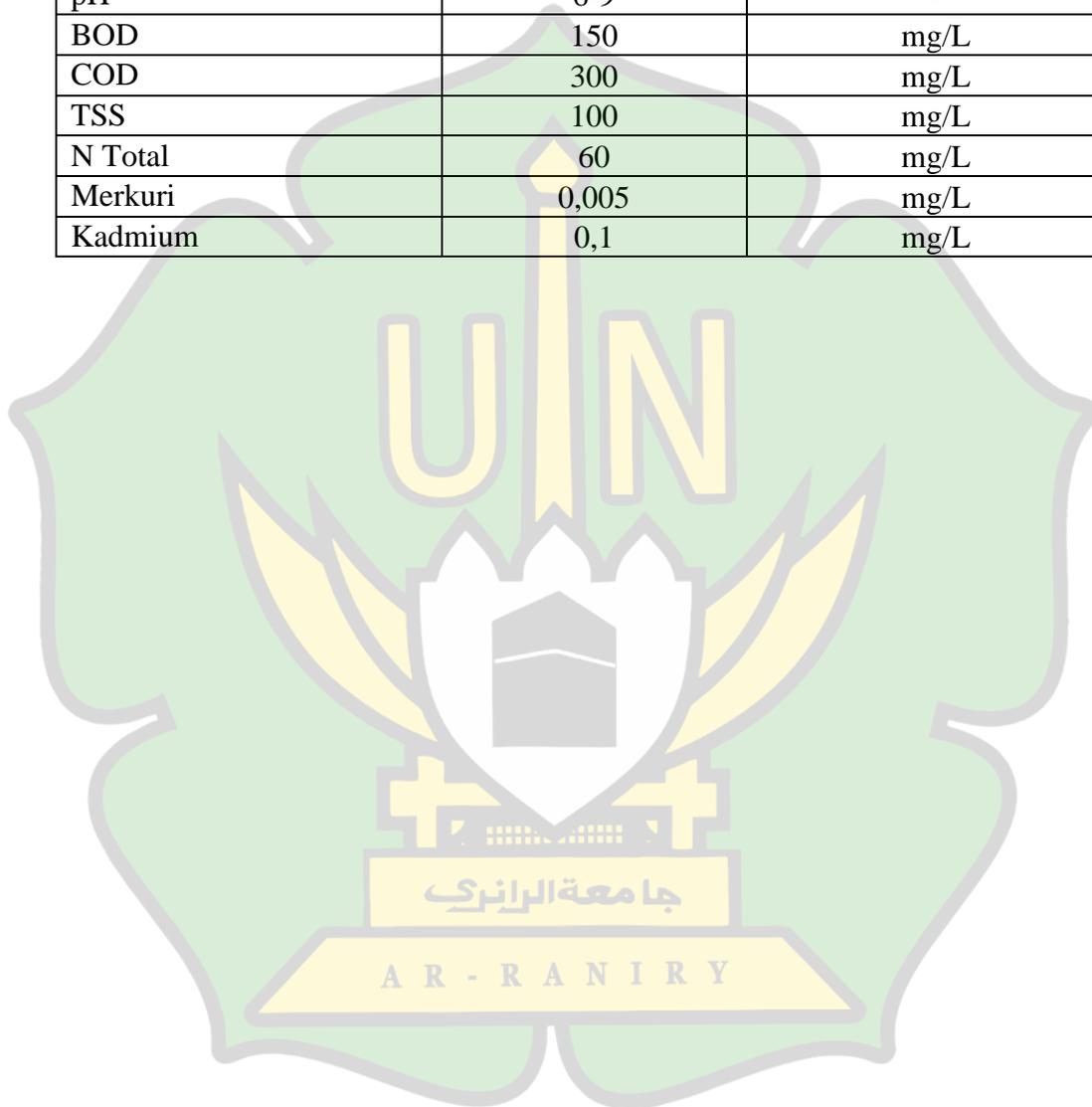
Widi Astuti. (2018) *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Unnes Press. ISBN 978-602-285-124-0

Yulia, R. M. (2020). *Efektivitas Pengelolaan Sampah Oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Aceh Besar* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.

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



Lampiran 2. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan.

Parameter	Satuan	GOLONGAN	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stanum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
Amonia-Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD ₅	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak dan Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

Lampiran 3. Air Lindi Bagian Outlet TPA Blang Bintang Aceh Besar.
Dokumentasi diambil pada Tanggal 05 Oktober 2021.



**Lampiran 4. Neraca Limbah PT. PLN (PERSERO) Pembangkitan Sumatera
Bagian Utara Sektor Pembangkitan Nagan Raya.**

	PT PLN (PERSERO) PEMBANGKITAN SUMATERA BAGIAN UTARA SEKTOR PEMBANGKITAN NAGAN RAYA	No. Dok : Revisi : 00 Tanggal : 27-10-2016 Halaman :
NERACA LIMBAH B3		TRIWULAN I

Nama Perusahaan : PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Nagan Raya
 Bidang Usaha : Ketenagalistrikan
 Periode Waktu : Januari s.d Maret 2018

I	JENIS AWAL LIMBAH	JUMLAH (TON)	CATATAN :
	Fly Ash dan Bottom Ash		
01)	Fly Ash sampai dengan TW 4 2018	67468 TON	
	Fly Ash TW 1 2019	6285 TON	
02)	Bottom Ash sampai dengan TW 4 2018	10913 TON	
	Bottom Ash TW 1 2019	1414 TON	
	TOTAL	A (+) 86079,5 TON	

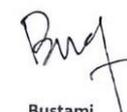
II	PERLAKUAN	JUMLAH (TON)	JENIS LIMBAH YANG DIKELOLA	PERIZINAN LIMBAH B3 DARI KLH		
				ADA	TIDAK ADA	KADALUARSA
	1. DISIMPAN	73753 TON	Fly Ash	√		
		12327 TON	Bottom Ash	√		
	2. DIMANFAATKAN	0 TON	1. -			
	3. DIOLAH	0 TON	1. -			
	4. DITIMBUN	0 TON	1. -			
	5. DISERAHKAN KE PIHAK KETIGA	0 TON	1.-			
	6. EKSPORT	0 TON	1. -			
	7. PERLAKUAN LAINNYA	0 TON	1. -			
	TOTAL	B (-) 86079,5 TON				
	RESIDU*	C (+) 0 TON				
	JUMLAH LIMBAH YANG BELUM TERKELOLA**	D (+) 0 TON				
	TOTAL JUMLAH LIMBAH YANG TERSISA	(C+D) 0 TON				
	KINERJA PENGELOLAAN LB3 SELAMA PERIODE SKALA WAKTU PENAATAN	{{[A-(C+D)]/A}X100% =		100 %		

KETERANGAN :
 * RESIDU adalah jumlah limbah tersisa dari proses perlakuan seperti abu insenerator, bottom ash dan fly ash dari pemanfaatan sludge oil di boiler,
 ** JUMLAH LIMBAH YANG BELUM TERKELOLA adalah limbah yang disimpan melebihi skala waktu penataan

Data-data tersebut di atas diisi dengan sebenar-benarnya sesuai dengan kondisi yang ada



Diperiksa oleh



Bustami
PJ Pelaksana Lingkungan

Nagan Raya, 1 April 2019
 Disusun oleh



Hafizh .M. Putri
Junior Engineer Lingkungan

Lampiran 5. Dokumentasi persiapan pembuatan adsorben *fly ash* batubara dan eksperimen.

Keterangan	Gambar
<p><i>Fly ash</i> batubara yang sudah dicuci dan dikeringkan dibawah sinar matahari</p>	
<p>Pengeringan <i>fly ash</i> batubara didalam oven dengan suhu 110°C</p>	
<p>Proses menghaluskan <i>fly ash</i> batubara dengan lumpang dan alu</p>	

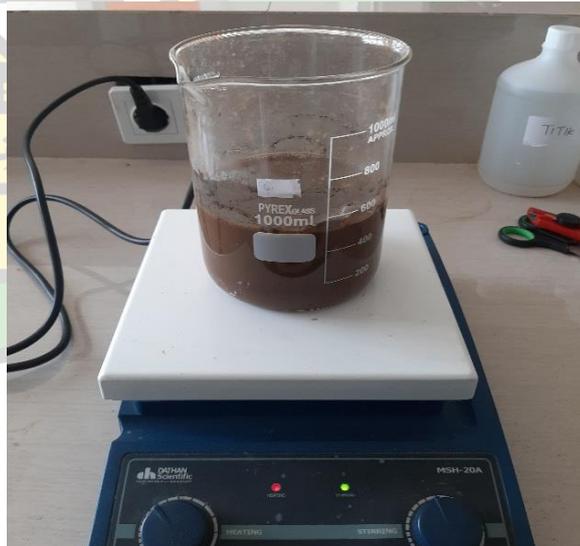
Pengayakan *fly ash* batubara menggunakan ayakan 100 mesh



Fly ash batubara setelah di ayakan



Proses pengaktifan *fly ash* batubara dengan larutan asam sulfat menggunakan *hot plat magnetic stirrer*



Proses pengadukan *fly ash* batubara dengan air lindi pada kecepatan 300 rpm

dengan waktu kontak 60 menit



Proses penyaringan untuk memisahkan adsorben dengan filtrat menggunakan kertas saring Whatman No.41



Hasil air lindi setelah proses perlakuan dan penyaringan dengan kertas Whatman No.41



Uji COD pada air lindi setelah proses perlakuan dengan menggunakan alat COD Meter



Lampiran 6. Perhitungan Pengenceran Asam Sulfat 1.000 ml

Diketahui: Konsentrasi = 96%

 Berat Jenis = 1,84 g/ml

 Berat Molekul = 98,08 g/mol

a. Mencari Molaritas Asam Sulfat

$$M = (10 \times \% \times \text{berat jenis}) / \text{berat molekul}$$

$$M = (10 \times 96 \times 1,84) / 98,08$$

$$M_1 = 18 \text{ m}$$

b. Mencari Molaritas Asam Sulfat

$$M = (10 \times 2\% \times 1,84) / 98,08$$

$$M_2 = 0,4 \text{ m}$$

c. Perhitungan Pembuatan Larutan Asam Sulfat 1.000 ml

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$M_1 = 18 \text{ m}$$

$$M_2 = 0,4 \text{ m}$$

$$V_1 = ?$$

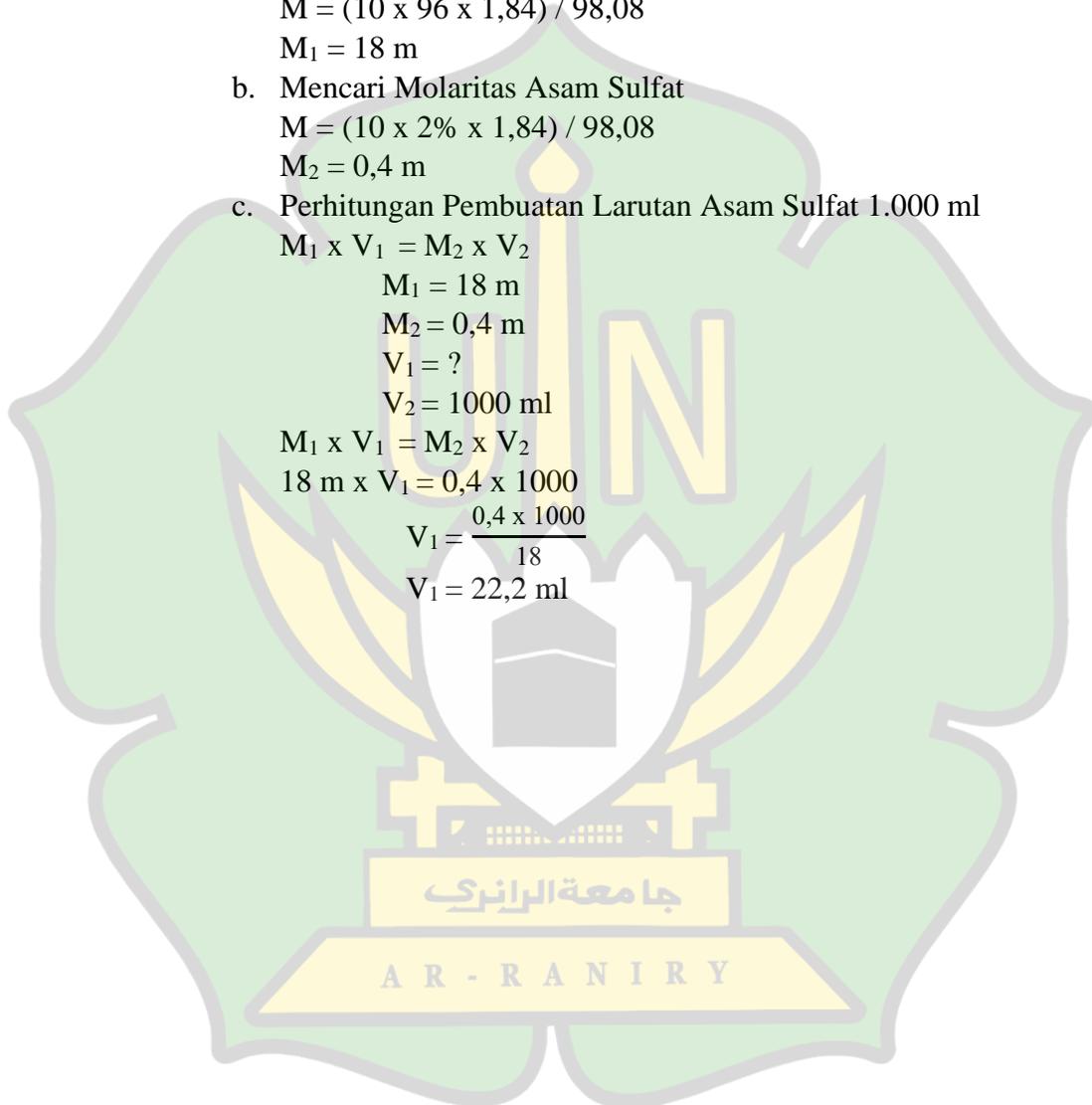
$$V_2 = 1000 \text{ ml}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

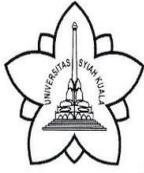
$$18 \text{ m} \times V_1 = 0,4 \times 1000$$

$$V_1 = \frac{0,4 \times 1000}{18}$$

$$V_1 = 22,2 \text{ ml}$$



Lampiran 7. Hasil Data Penelitian



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK KIMIA
LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN
Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/Fax. (0651) 7552222
Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpkl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI
Nomor: 104/JTK-USK/LTPKL/2021

Nama Pelanggan : Dona Ambia
 Alamat Pelanggan : Blang Krueng Darussalam–Banda Aceh
 Tanggal di Terima : 16 Juni 2021
 Jenis Contoh Uji : Air Lindi
 Tanggal di Analisa : 17 Juni 2021 s/d 21 Juni 2021
 Untuk Keperluan : Penelitian Mahasiswa
 Baku Mutu : PermenLH Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

No.	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
I. Kimia					
1.	Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD)	mg/l	150	---	
2.	Kebutuhan Oksigen Kimia (COD)	mg/l	300	1,405	
3.	Mangan (Mn)	mg/l	–	2,070	
4.	Seng (Zn)	mg/l	–	5,030	
5.	Besi (Fe)	mg/l	–	6,800	

Darussalam, 22 Juni 2021
 KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
 UNIVERSITAS SYIAH KUALA
 FAKULTAS TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK KIMIA
 LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN
Dr. Egi Muliawar, S.T., M.Eng.
 NIP. 19690210198021001



جامعة الرانيري
AR - RANIRY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
LABORATORIUM ANALISIS INSTRUMENTASI KIMIA
DARUSSALAM BANDA ACEH

LEMBAR HASIL UJI
No : 096/B/LA/Kim/2021

Sampel ID : Limbah
Permintaan : Dona Ambia
Tanggal Penerimaan : 25 Oktober 2021
Tanggal Analisa : 27 Oktober 2021
Hasil Analisa :

No.	Parameter Uji	Unit	Hasil Analisa
1.	Kebutuhan Oksigen Biologi (COD) Kontrol	mg/l	164
2.	Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) Kontrol	mg/l	1.504
3.	Besi (Fe) Kontrol	mg/l	6,6
4.	Mangan (Mn) Kontrol	mg/l	2,30
5.	Seng (Zn) Kontrol	mg/l	5,11

Darussalam 29 Oktober 2021
Laboratorium Analisis Instrumentasi Kimia



Kepala
Dr. Leliana, M.Si
Nip. 197002212000032002

AR-RANIRY



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
LABORATORIUM ANALISIS INSTRUMENTASI KIMIA
DARUSSALAM BANDA ACEH

=====

LEMBAR HASIL UJI

No : 095/B/LA/Kim/2021

Sampel ID : Limbah
Permintaan : Dona Ambia
Tanggal Penerimaan : 25 Oktober 2021
Tanggal Analisa : 27 Oktober 2021
Hasil Analisa :

No.	Sampel ID	Unit	Hasil Analisa BOD	Metoda Analisa
1.	35	mg/L	157	Winkler
2.	50	mg/L	133	
3.	65	mg/L	93	
4.	80	mg/L	67	
5.	100	mg/L	35	

Darussalam 29 Oktober 2021

Laboratorium Analisis Instrumentasi Kimia



Kepala
Dr. Leliana, M.Si

NIP. 197002212000032002

AR-RANIRY



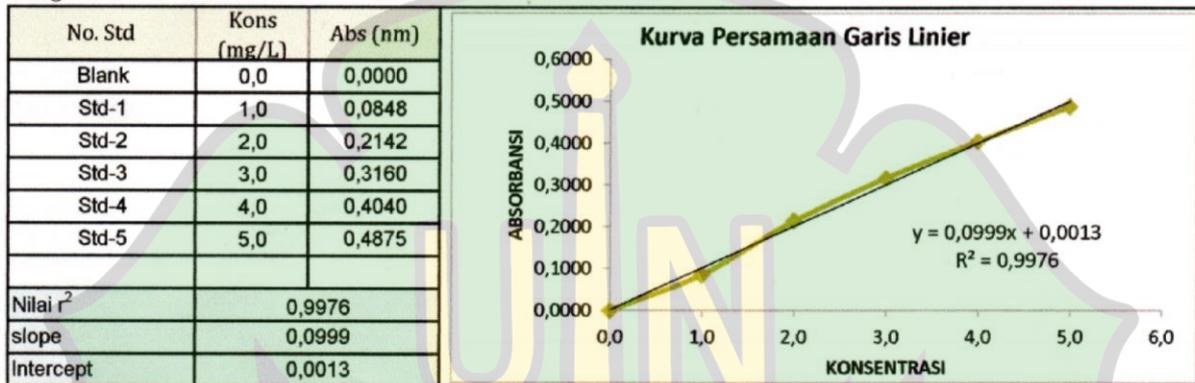
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Laboratorium Fakultas Sains & Teknologi

Lab Instrumen FST, Lantai 1, Gedung Laboratorium Multifungsi
Jl. Syeikh Abdur Rauf, Kopelma Darussalam, Banda Aceh, 23111

No: B-23/VIIN/FST-Lab/PP.19/10/2021

Data Pengukuran Kadar Tembaga (Fe)

1. Sampel : Air Permukaan
2. Metode : SNI 6989.4:2009
3. Teknik : AAS-Flame
4. Instrument : AAS Perkin ELMER PinAAcle 900T
5. Pengukuran Larutan Standar



6. Evaluasi Pengukuran

No	Evaluator	Abs (nm)	Kons (mg/L)	fp	Hasil (mg/L)	RSD (%)	Rec (%)
1	Std-7 2 mg/L	0,2105	2,0938	1	2,0938	0,32	104,31
2	Std-8 2 mg/L	0,2094	2,0828	1	2,0828	Ok	Ok
3	Std-9 2 mg/L	0,2093	2,0818	1	2,0818		

MDL = 0,027 mg/L RSD < 10 % Target Rec = 2 mg/L Batas Rec = 85-115 %

7. Pengukuran Sampel

No	Sampel	Abs (nm)	Kons (mg/L)	fp	Hasil (mg/L)	MDL
1	35 Dona	0,1079	1,0669	1	1,0669	Ok
2	50 Dona	0,1700	1,6884	1	1,6884	Ok
3	65 Dona	0,0295	0,2824	1	0,2824	Ok
4	80 Dona	0,0356	0,3435	1	0,3435	Ok
5	100 Dona	0,0203	0,1901	1	0,1901	Ok

Darussalam, 21 Oktober 2021

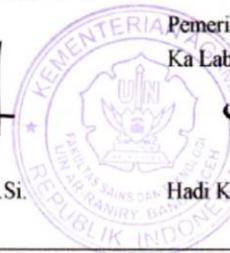
Analisis

Rizki Kurniawan, S.Si.

Pemeriksa

Ka Lab FST

Hadi Kurniawan, S.Si., M.Si.





KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
 UNIVERSITAS SYIAH KUALA
 FAKULTAS TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK KIMIA
LAB. TEKNIK PENGUJIAN KUALITAS LINGKUNGAN
 Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111 Telepon/Fax. (0651) 7552222
 Laman: <http://che.unsyiah.ac.id>; e-mail: ltpl@che.unsyiah.ac.id

LEMBAR HASIL UJI

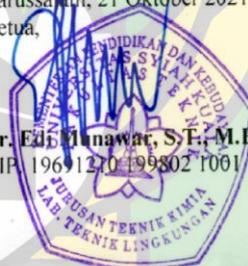
Nomor: 226/JTK-USK/LTPKL/2021

Nama Pelanggan : Dona Ambia
 Alamat Pelanggan : Blang Krueng Darussalam-Banda Aceh
 Tanggal di Terima : 15 Oktober 2021
 Jenis Contoh Uji : Air Lindi
 Tanggal di Analisa : 21 Oktober 2021
 Parameter Uji : Mangan (Mn)
 Untuk Keperluan : Penelitian Mahasiswa
 Baku Mutu : PermenLH Nomor P.59/Menlh/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

No.	Kode Contoh Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Ket.
1.	35 gram	mg/l	-	1,489	
2.	50 gram	mg/l	-	1,284	
3.	65 gram	mg/l	-	0,454	
4.	80 gram	mg/l	-	0,196	
5.	100 gram	mg/l	-	0,048	

Darussalam, 21 Oktober 2021
 Ketua,

Dr. Edy Munawar, S.P., M.Eng.
 NIP. 196912101998021001



جامعة الرانيري

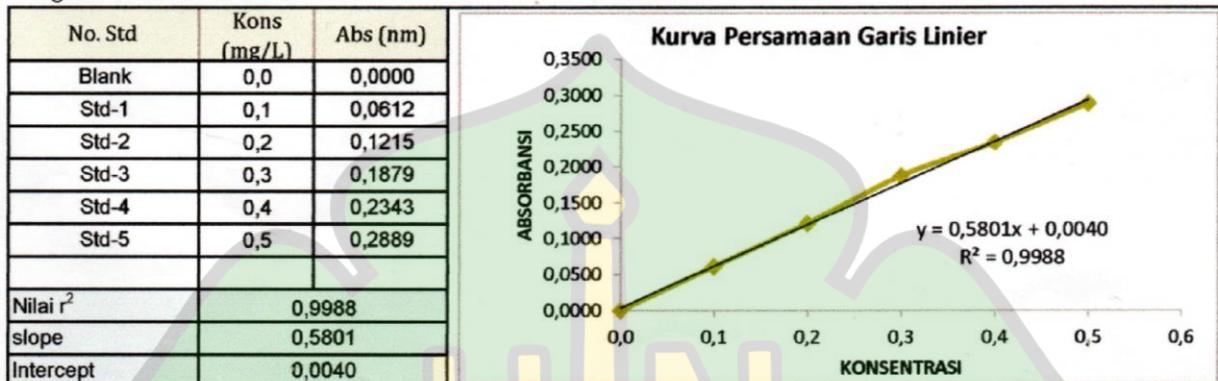
AR - RANIRY

No: B-220/UIN/FST-Lab/PP.19/10/2021

Data Pengukuran Kadar Tembaga (Zn)

1. Sampel : Air Permukaan
 2. Metode : SNI 6989.7:2009
 3. Teknik : AAS-Flame
 4. Instrument : AAS Perkin ELMER PinAAcle 900T

5. Pengukuran Larutan Standar



6. Evaluasi Pengukuran

No	Evaluator	Abs (nm)	Kons (mg/L)	fp	Hasil (mg/L)	RSD (%)	Rec (%)
1	Std-7 0,3 mg/L	0,1841	0,3106	1	0,3106	0,57	104,17
2	Std-8 0,3 mg/L	0,1855	0,3130	1	0,3130	Ok	Ok
3	Std-9 0,3 mg/L	0,1861	0,3140	1	0,3140		

MDL = 0,021 mg/L RSD < 10 % Target Rec = 0,3 mg/L Batas Rec = 85-115 %

7. Pengukuran Sampel

No	Sampel	Abs (nm)	Kons (mg/L)	fp	Hasil (mg/L)	MDL
1	35 Dona	0,5843	1,0005	1	1,0005	Ok
2	50 Dona	0,5649	0,9671	1	0,9671	Ok
3	65 Dona	0,5455	0,9335	1	0,9335	Ok
4	80 Dona	0,7566	1,2975	1	1,2975	Ok
5	100 Dona	0,0796	0,1304	1	0,1304	Ok

AR - RANIRY

Darussalam, 21 Oktober 2021

Analisis

Rizki Kurniawan, S.Si.

Pemeriksa
Ka Lab FST

Hadi Kurniawan, S.Si., M.Si.

Lampiran 8. Hasil Analisis Regresi Linear Sederhana Perlakuan Adsorben *Fly Ash* Batubara Pada Air Lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar

a. Massa terhadap *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Massa ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: BOD

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.949 ^a	.900	.875	18.321

a. Predictors: (Constant), Massa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	12054.198	1	12054.198	35.912	.004 ^b
	Residual	1342.636	4	335.659		
	Total	13396.833	5			

a. Dependent Variable: BOD

b. Predictors: (Constant), Massa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	184.856	14.823		12.471	.000
	Massa	-1.394	.233	-.949	-5.993	.004

a. Dependent Variable: BOD

b. Massa terhadap *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Massa ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: COD

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.912 ^a	.833	.791	45.285

a. Predictors: (Constant), Massa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	40775.806	1	40775.806	19.883	.011 ^b
	Residual	8203.027	4	2050.757		
	Total	48978.833	5			

a. Dependent Variable: COD

b. Predictors: (Constant), Massa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1471.882	36.638		40.173	.000
	Massa	-2.565	.575	-.912	-4.459	.011

a. Dependent Variable: COD

AR - RANIRY

c. Massa terhadap Besi (Fe)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Massa ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Fe

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.857 ^a	.734	.668	1.4250005

a. Predictors: (Constant), Massa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	22.418	1	22.418	11.040	.029 ^b
	Residual	8.123	4	2.031		
	Total	30.540	5			

a. Dependent Variable: Fe

b. Predictors: (Constant), Massa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.002	1.153		4.339	.012
	Massa	-.060	.018	-.857	-3.323	.029

a. Dependent Variable: Fe

A R - R A N I R Y

d. Massa terhadap Mangan (Mn)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Massa ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Mn

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.978 ^a	.956	.945	.205796

a. Predictors: (Constant), Massa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.693	1	3.693	87.203	.001 ^b
	Residual	.169	4	.042		
	Total	3.863	5			

a. Dependent Variable: Mn

b. Predictors: (Constant), Massa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.305	.166		13.843	.000
	Massa	-.024	.003	-.978	-9.338	.001

a. Dependent Variable: Mn

A R - R A N I R Y

e. Massa terhadap Seng (Zn)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Massa ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: Zn

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.826 ^a	.682	.603	1.1195795

a. Predictors: (Constant), Massa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10.757	1	10.757	8.582	.043 ^b
	Residual	5.014	4	1.253		
	Total	15.771	5			

a. Dependent Variable: Zn

b. Predictors: (Constant), Massa

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3.864	.906		4.266	.013
	Massa	-.042	.014	-.826	-2.930	.043

a. Dependent Variable: Zn

AR - RANIRY