

**KEMAMPUAN KARBON AKTIF DARI SAMPAH PLASTIK
JENIS *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* TERAKTIVASI HCl
DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT Fe DAN COD
PADA LIMBAH LINDI TPA GAMPONG JAWA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Oleh:
ATIKA RUHAYYAH
NIM. 170702026**

**Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M / 1443 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**KEMAMPUAN KARBON AKTIF DARI SAMPAH PLASTIK
JENIS *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* TERAKTIVASI HCl
DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT Fe DAN COD
PADA LIMBAH LINDI TPA GAMpong JAWA**

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

Diajukan Oleh

ATIKA RUHAYYAH

NIM. 170702026

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

Banda Aceh, 7 Januari 2022
Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Pembimbing I

Dr. Irhamni, M. T

NIDN. 0102107101

Pembimbing II

T. Muhammad Ashari, M. Sc

NIDN. 2002028301

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Dr. Eng. Nur Aida, M. Si

NIDN. 2016067801

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**KEMAMPUAN KARBON AKTIF DARI SAMPAH PLASTIK
JENIS *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* TERAKTIVASI HCl
DALAM MENURUNKAN KADAR LOGAM BERAT Fe DAN COD
PADA LIMBAH LINDI TPA GAMPONG JAWA**

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal : Jumat, 7 Januari 2022
5 Jumadil Akhir 1443 H

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

Sekretaris,


Dr. Irhamni, M. T
NIDN. 0102107101


T. Muhammad Ashari, M. Sc
NIDN. 2002028301

Penguji I,

Penguji II,


Dr. Ir. Elvitriana, M. Eng
NIDN. 0129016601


Reni Silvia Nasution, M. Si
NIDN. 2022028901

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




Dr. Azhar Amsal, M. Pd
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Atika Ruhayyah
NIM : 170702026
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Kemampuan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik Jenis
Polyethylene Terephthalate Teraktivasi HCl Dalam
Menurunkan Kadar Logam Berat Fe dan COD Pada Limbah
Lindi TPA Gampong Jawa

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini, saya :

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan ;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

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

Banda Aceh, 7 Januari 2022
Yang Menyatakan,



Atika Ruhayyah

ABSTRAK

Nama : Atika Ruhayyah
NIM : 170702026
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Kemampuan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik Jenis
Polyethylene Terephthalate Teraktivasi HCl Dalam
Menurunkan Kadar Logam Berat Fe dan COD Pada Limbah
Lindi TPA Gampong Jawa
Tanggal Sidang : 7 Januari 2022
Pembimbing I : Dr. Irhamni, M. T.
Pembimbing II : T. Muhammad Ashari, M. Sc.
Kata Kunci : Adsorpsi, *Polyethylene Terephthalate* dan Karakteristik.

TPA merupakan lokasi terakhir dari proses pengolahan sampah perkotaan dengan cara menimbun sampah pada suatu lahan urug. Proses dekomposisi sampah dan pemaparan air hujan pada timbunan sampah akan menghasilkan cairan pekat yakni lindi. Pada air lindi sering ditemukan senyawa-senyawa berbahaya seperti logam berat dan COD yang dapat mencemari lingkungan. Keberadaan Logam berat dengan konsentrasi tertentu akan berubah menjadi *toxic* bagi ekosistem perairan, serta kadar COD yang tinggi menandakan adanya bahan pencemar organik dengan jumlah yang besar sehingga dapat mengancam kehidupan organisme akuatik. Salah satu alternatif dalam menyisihkan zat pencemar ini yakni dengan menggunakan metode adsorpsi. Adsorben yang digunakan berupa karbon aktif dari sampah plastik jenis *polyethylene terephthalate* teraktivasi HCl 1M. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik karbon aktif dan variasi dosis terbaik dalam menurunkan polutan pada lindi. Hasil analisa karakteristik karbon aktif sampah plastik PET yakni kadar air 2,2%, kadar abu 2,6%, kadar zat menguap 62,2% dan kadar karbon terikat 33%. Nilai kadar air dan kadar abu sudah memenuhi SNI 06-3730-1995, namun untuk kadar zat menguap dan kadar karbon terikat belum memenuhi SNI 06-3730-1995. Dosis terbaik dalam menurunkan kadar logam berat Fe dan COD yakni pada dosis 15 gram dengan nilai akhir Fe sebesar 0,106 mg/L dengan efisiensi 96,4% dan COD sebesar 3404 mg/L dengan efisiensi 36,7%. Penurunan kadar logam Fe disetiap variasi dosis sudah memenuhi Standar Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017, sedangkan penurunan kadar COD belum mencapai baku mutu Permen LHK Nomor 59 Tahun 2016.

ABSTRACT

Name : Atika Ruhayyah
NIM : 170702026
Study Program : Environmental Engineering
Title : *The Ability of Activated Carbon From Plastic Waste Types Activated Polyethylene Terephthalate HCl in Reducing Heavy Metals Fe And COD in Leachate Waste at Gampong Jawa Final Disposal Sites*
Date of Session : 7 Januari 2022
Advisor I : Dr. Irhamni, M. T.
Advisor II : T. Muhammad Ashari, M. Sc.
Keywords : Adsorption, poyethylene terephthalate and characteristics.

Final Disposal Site is the final location of the urban waste processing process by dumping waste on a landfill. The process of decomposition of waste and exposure to rainwater in the landfill will produce a concentrated water, namely leachate. In leachate water is often found harmful compounds such as heavy metals and COD that can pollute the environment. The presence of heavy metals with certain concentrations will turn toxic to aquatic ecosystems, and high levels of COD indicate the presence of organic pollutants in large quantities so that they can threaten the life of aquatic organisms. One alternative in removing these pollutants is to use the adsorption method. The adsorbent used is activated carbon from polyethylene terephthalate activated carbon 1M HCl. This study aims to determine the characteristics of activated carbon and the best dose variations in reducing pollutants in leachate. The results of the analysis of the characteristics of the activated carbon of PET plastic waste are 2.2% water content, 2.6% ash content, 62.2% volatile matter content and 33% bound carbon content. The value of water content and ash content has fulfilled SNI 06-3730-1995, but for volatile matter content and bound carbon content it has not met SNI 06-3730-1995. The best dose in reducing the levels of heavy metals Fe and COD is at a dose of 15 grams with a final value of Fe of 0.106 mg/L with an efficiency of 96.4% and COD of 3404 mg/L with an efficiency of 36.7%. The decrease in Fe metal levels in each dose variation has met the Standard of the Minister of Health of the Republic of Indonesia Number 32 of 2017, while the decrease in COD levels has not reached the quality standard of the Minister of Environment and Forestry Regulation Number 59 of 2016.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama ALLAH SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang kita panjatkan puji syukur atas kehadiran-Nya yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada kita semua. Sholawat dan salam tak lupa pula kita sanjung sajikan ke pangkuan nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita dari alam jahil yang penuh kebodohan menuju ke alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti saat ini.

Atas berkat dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Kemampuan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate Teraktivasi HCl Dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Fe dan COD pada Limbah Lindi TPA Gampong Jawa”**. Tugas akhir ini dapat terselesaikan atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Azhar Amsal, M. Pd, Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
2. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan sekaligus Penasihat Akademik dan Koordinator Proposal Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Ibu Dr. Irhamni, M. T selaku Pembimbing I serta Ketua Sidang Munaqasyah Tugas Akhir.
5. Bapak T. Muhammad Ashari, M. Sc selaku Pembimbing II serta Sekretaris Sidang Munaqasyah Tugas Akhir.
6. Ibu Dr. Ir. Elvitriana, M. Eng selaku Penguji I Sidang Munaqasyah Tugas Akhir.

7. Ibu Reni Silvia Nasution, M. Si selaku Penguji II Sidang Munaqasyah Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
9. Seluruh staf/karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry yang telah memberikan banyak bantuan.
10. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Lingkungan angkatan 2017 yang telah memberikan motivasi serta dukungan bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang turut mendukung dan membantu penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Demikian Tugas Akhir ini penulis susun, semoga dapat bermanfaat terutama bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik masukan dan saran yang membangun dari pembaca.

Banda Aceh, 7 Januari 2022

Penulis,

Atika Ruhayyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Limbah Lindi.....	6
2.2 Karbon Aktif.....	7
2.2.1 Standar Kualitas Karbon Aktif.....	8
2.2.2 Karbonisasi.....	9
2.3 Adsorpsi.....	9
2.4 Aktivasi.....	10
2.4.1 Asam Klorida (HCl).....	11
2.4.2 Asam Fosfat (H ₃ PO ₄).....	12
2.4.1 Asam Sulfat (H ₂ SO ₄).....	12
2.5 Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	13
2.6 Logam Berat	15
2.6.1 Logam Fe	15
2.6.2 Pencemaran Fe	16
2.7 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Lokasi dan Jadwal Penelitian	18
3.2 Objek Penelitian	18
3.3 Alat dan Bahan.....	19
3.3.1 Alat.....	19
3.3.2 Bahan.....	19

3.4 Pembuatan Karbon Aktif.....	20
3.5 Analisis Karakteristik Karbon Aktif	21
3.5.1 Analisis Kadar Air	21
3.5.2 Analisis Kadar Zat Menguap.....	21
3.5.3 Analisis Kadar Abu.....	22
3.5.4 Analisis Kadar Karbon Terikat.....	22
3.6 Pengujian Adsorben Pada Sampel.....	22
3.7 Analisis Kandungan COD.....	23
3.8 Analisis Kandungan Fe	25
3.9 Analisis Data	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pembuatan Karbon Aktif Sampah Plastik PET	28
4.2 Karakterisasi Karbon Aktif Sampah Plastik PET	29
4.3 Pengaruh Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Penurunan Fe	31
4.4 Pengaruh Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Penurunan COD.....	34
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Botol Plastik PET.....	14
Gambar 2.2	Struktur Plastik PET	14
Gambar 3.1	Peta Lokasi Pengambilan Sampel.....	18
Gambar 3.2	Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif.....	20
Gambar 3.3	Sketsa pengujian adsorben pada sampel	23
Gambar 4.1	Proses karbonisasi, (a) Sampel Plastik PET (b) Proses Karbonisasi, (c) Hasil Karbonisasi.....	28
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Penurunan Fe.....	33
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe	33
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Penurunan COD	35
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Efisiensi Penyisihan COD.....	36

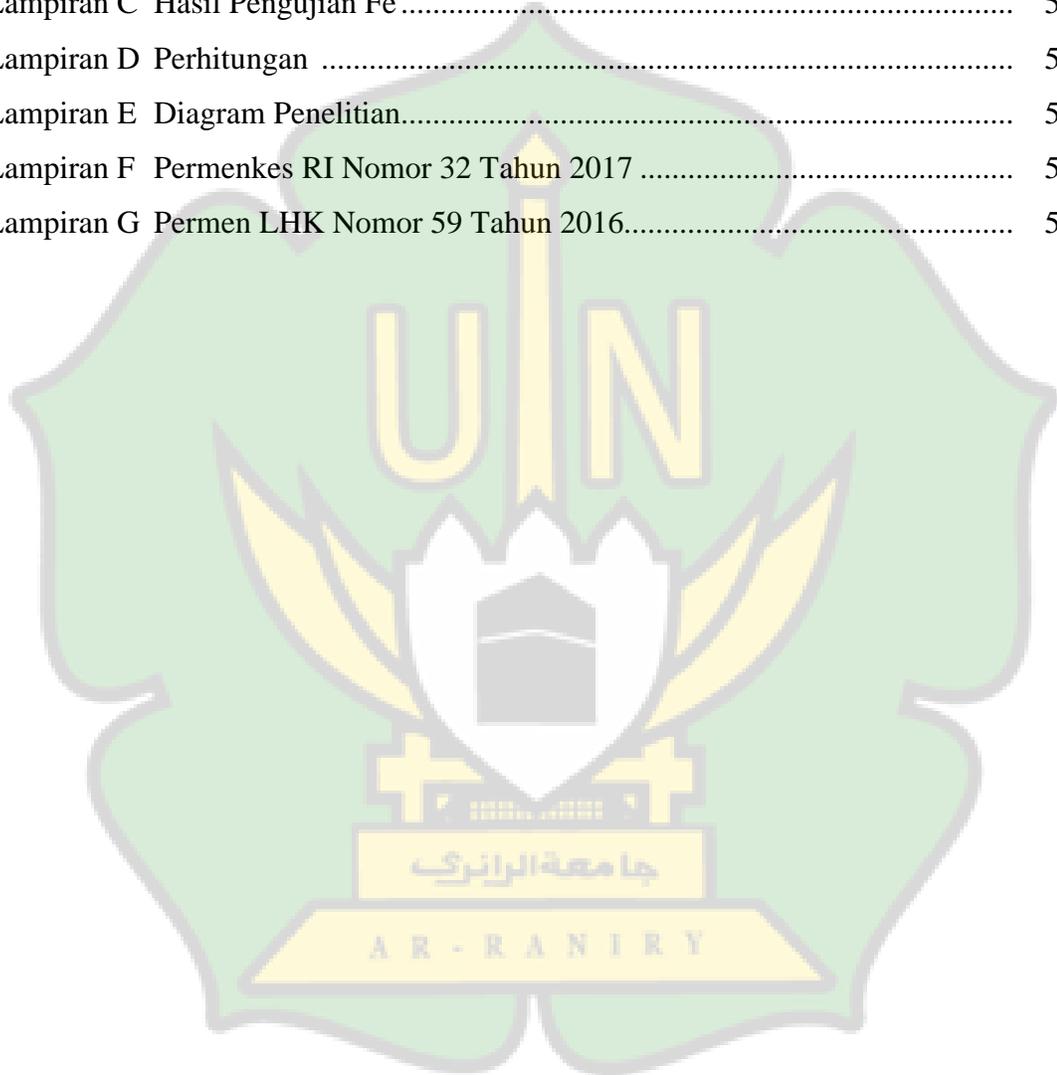
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Lindi.....	7
Tabel 2.2	Standar Kualitas Karbon Aktif.....	8
Tabel 2.3	Sifat Fisika Asam Klorida.....	11
Tabel 2.4	Jenis- Jenis Plastik	13
Tabel 3.1	Hasil Uji Pendahuluan	19
Tabel 3.2	Contoh Uji Larutan Pereaksi Pada Berbagai-macam Digestion Vessel.....	25
Tabel 4.1	Hasil Analisis Kualitas Karbon Aktif Dari Sampah Plastik PET	29
Tabel 4.2	Nilai Kadar Fe Pada Limbah Lindi.....	32
Tabel 4.3	Nilai Kadar COD Pada Limbah Lindi	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	44
Lampiran B Dokumentasi Penelitian	45
Lampiran C Hasil Pengujian Fe	50
Lampiran D Perhitungan	51
Lampiran E Diagram Penelitian.....	55
Lampiran F Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017	56
Lampiran G Permen LHK Nomor 59 Tahun 2016.....	58



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Limbah lindi merupakan limbah yang berasal dari rembesan air hujan, jatuh pada sampah yang tertimbun sehingga membawa materi dari produk sampah yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya seperti bakteri patogen, zat organik (hidrokarbon, fulvat, galat, dan tanah) dan zat anorganik (magnesium, kalium, sulfat, natrium, fosfat dan logam berat) (Silaban dkk., 2017). Pada air lindi sering ditemukan berbagai jenis logam berat seperti besi, arsen, kromium, kadmium, merkuri, nikel, tembaga dan timbal (Sudarwin, 2008). Senyawa-senyawa berbahaya ini dapat terinfiltrasi ke dalam tanah yang berpotensi merusak air tanah dan lingkungan sekitar, serta aliran air lindi yang mengikuti aliran *run off* akan bermuara ke badan air dan mencemari air tersebut. Apabila badan air atau air sungai yang sudah tercemar limbah lindi dimanfaatkan masyarakat untuk kegiatan sehari-hari, maka akan sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh.

Instalasi pengolahan limbah lindi TPA Gampong Jawa memiliki 3 kolam lindi yakni kolam anaerobik (inlet), kolam fakultatif (pengolahan) dan kolam maturasi (outlet). Perlakuan penurunan pencemaran dilakukan pada kolam fakultatif dengan menggunakan aerator untuk mengurangi kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang terdapat di lindi. Limbah lindi yang telah melalui tahap pengolahan akan dialirkan ke sungai. Sebagian masyarakat yang berdomisili di bantaran sungai Krueng Aceh tersebut masih menggunakan air sungai untuk kegiatan sehari-hari dan juga masih terdapat lokasi tambak ikan dan udang yang merupakan sumber mata pencaharian masyarakat Gampong Jawa .

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Irhamni dkk., (2017) diketahui bahwasanya konsentrasi logam berat Fe di kolam lindi TPA Gampong Jawa sebesar 10,9191 ppm. Hasil ini membuktikan bahwa telah terjadi

kontaminasi logam berat Fe yakni melebihi Standar Baku Mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 yakni sebesar 5 mg/L.

Menurut analisa pendahuluan yang dilakukan oleh peneliti di kolam lindi TPA Gampong Jawa pada bulan Maret 2021, diketahui bahwa konsentrasi logam Fe sebesar 1,5997 mg/L dan COD sebesar 3.636,08 mg/L. Kadar Fe pada pengujian tersebut menunjukkan penurunan dibandingkan dengan pengujian yang telah dilaksanakan oleh Irhamni dkk., (2017). Hal ini terjadi karena TPA Gampong Jawa telah beralih fungsi sebagai *transfer station* pasca pengoperasian TPA Regional Blang Bintang. Namun, kadar Fe dari hasil pengujian tersebut masih melebihi standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 yaitu sebesar 1 mg/L. Untuk kadar COD juga masih melebihi standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 yakni sebesar 300 mg/L.

Menurut Supriyantini & Endrawati., (2015) keberadaan besi yang melebihi 1 mg/L dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik serta pada pH < 5 besi sangat mudah terlarut dan kadar toksisitasnya semakin meningkat. Kadar COD yang tinggi pada limbah lindi juga akan berdampak buruk bagi lingkungan yakni dapat berdampak pada penurunan parameter oksigen terlarut di perairan, sehingga dapat mengancam kehidupan organisme akuatik serta menimbulkan bau tak sedap (Setiyanto dkk., 2016). Melihat dampak-dampak yang akan ditimbulkan dari permasalahan lindi ini, maka diperlukan upaya untuk mengolah limbah lindi agar tidak melebihi standar yang telah diatur pemerintah. Salah satu alternatif untuk menurunkan senyawa berbahaya yang terkandung pada limbah lindi yaitu menggunakan karbon aktif sebagai adsorben limbah.

Di era globalisasi saat ini, penggunaan plastik untuk berbagai keperluan manusia semakin hari semakin meningkat, mulai dari skala rumah tangga hingga keperluan di bidang industri. Material plastik memiliki beberapa kelebihan yang menjadikannya sulit tergantikan dengan material yang lain. Adapun kelebihan plastik yakni bersifat kuat, transparan, fleksibel, mudah diwarnai, dan proses pembuatannya

yang terbilang murah. Namun dibalik beberapa kelebihan tersebut, plastik yang tidak dapat digunakan kembali akan menjadi residu di alam yang sulit diuraikan dengan mudah oleh mikroorganismenya.

Indonesia merupakan penyumbang sampah plastik terbanyak di dunia urutan kedua setelah Tiongkok yakni 1,29 Juta metric ton (Wicaksono & Arijanto, 2017). Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) Indonesia menyumbang 0,8 Kg sampah/orang atau 189 ribu ton sampah/hari, dari jumlah tersebut terdapat 28,4 ribu ton sampah berjenis plastik (Iswadi dkk., 2017). Adapun alternatif lain untuk mengurangi jumlah timbulan sampah plastik yakni dengan memanfaatkannya sebagai karbon aktif.

Material dasar yang dibutuhkan untuk membuat karbon aktif harus mengandung unsur karbon yang besar. Plastik merupakan salah satu material yang dapat dijadikan karbon aktif karena mengandung 1000 senyawa karbon di setiap tulang punggung polimernya (Ruhmawati dkk., 2020). Karbon aktif merupakan bahan baku yang berperan penting dalam menaikkan mutu atau kualitas produk yang dihasilkan, seperti pada proses pengolahan air limbah, pengolahan air minum, industri obat-obatan dan lain sebagainya (Verayana dkk., 2018). Pembuatan karbon aktif umumnya dibantu menggunakan aktivator seperti HCl untuk mengurangi kadar air dan membuka pori-pori yang terdapat pada karbon. HCl merupakan aktivator yang mempunyai sifat higroskopis yang baik sehingga sering digunakan untuk melarutkan zat pengotor pada karbon aktif.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Cundari dkk., (2016) mengenai karbon aktif dari sampah plastik membuktikan bahwa plastik jenis *polyethylene* yang diaktivasi secara fisika kimia dengan berat karbon sebanyak 30 gram dapat menurunkan kandungan BOD 98,73% & COD 98,41% dan perlakuan aktivasi secara fisika dengan berat karbon 30 gram mampu menurunkan kadar TSS yakni 99,28% pada pengolahan limbah industri kain jumpitan.

Pada penelitian lain, yakni aplikasi karbon aktif dengan variasi jenis sampah plastik dalam menurunkan kontaminan logam mangan dan besi terlarut pada air

sumur tertinggi diperoleh oleh karbon aktif plastik *polyethylene terephthalate* dengan berat 80 gram yakni Fe 94% ; Mn 94% ; kekeruhan 89%. Limbah plastik lainnya seperti PVC (*Polyvinyl Chloride*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), BPA Free (*Bisphenol A*) rata-rata mampu menurunkan Fe pada rentang 76%-89%, Mn 79%-85%, dan kekeruhan 77%-82%. (Hendrasarie & Prihantini, 2020).

Berdasarkan persoalan yang telah diuraikan diatas, maka peneliti akan melakukan pengkajian lebih lanjut mengenai kemampuan karbon aktif dari sampah plastik jenis *polyethylene terephthalate* teraktivasi HCl dalam menurunkan kadar logam berat Fe dan COD pada limbah lindi di TPA Gampong Jawa.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yakni sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik karbon aktif dari sampah plastik jenis *polyethylene Terephthalate*?
2. Berapakah dosis optimum yang efektif pada karbon aktif dalam menurunkan kandungan logam Fe dan COD pada limbah lindi?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yakni sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui karakteristik karbon aktif dari sampah plastik jenis *polyethylene terephthalate* yaitu kadar abu, kadar zat menguap, kadar air dan kadar karbon terikat.
2. Untuk mengetahui jumlah dosis optimum karbon aktif yang efektif dalam menurunkan kandungan logam Fe dan COD pada limbah lindi.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Penulis

Sebagai ilmu baru dalam bidang penelitian, yakni menurunkan kontaminan logam berat Fe dan COD pada limbah lindi di TPA Gampong Jawa dengan cara memanfaatkan sampah plastik sebagai karbon aktif.

2. Bagi Masyarakat

Memberikan informasi-informasi penting mengenai pemanfaatan limbah plastik agar masyarakat berperan dalam pengelolaan sampah plastik, mengetahui mutu lindi sehingga masyarakat akan lebih peduli terhadap peningkatan kualitas lingkungan.

3. Bagi Pemerintah

Sebagai acuan pada proses pengambilan kebijakan terkait pengelolaan sampah terutama sampah plastik dan mengetahui metode yang tepat untuk menurunkan kadar zat pencemar pada air lindi agar dapat diaplikasikan pada kolam lindi.

1.5. Batasan Penelitian

Berdasarkan SNI 06-3730-1995 Tentang Standar Kualitas Karbon Aktif mencakup kadar abu, kadar air, kadar zat mudah menguap, daya serap terhadap iodin, kadar karbon terikat dan daya serap terhadap uap benzena. Namun pada penelitian ini kajian hanya difokuskan pada pengamatan kadar air, kadar abu, kadar zat menguap dan kadar karbon terikat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Limbah Lindi

Limbah merupakan hasil dari sisa-sisa aktivitas atau kegiatan yang tidak bisa dimanfaatkan kembali dan dibuang ke lingkungan. Setiap aktivitas manusia mulai dari hal kecil yang berasal dari rumah tangga hingga skala besar seperti yang dihasilkan dari pengolahan industri dapat menghasilkan limbah. Umumnya limbah-limbah tersebut akan meninggalkan jejak residu berbahaya bagi alam dan lingkungan. Berdasarkan bentuk fisiknya limbah dibedakan menjadi padat, cair dan gas (Setiawati dkk., 2019).

Salah satu pencemar utama badan air adalah air limbah. Beberapa komponen yang terdapat pada air limbah sangat berbahaya baik bagi lingkungan maupun kesehatan manusia. Adapun komponen yang terdapat pada air limbah yakni, bakteri patogen, bahan organik, bahan anorganik, bangkai hewan yang mati, dan lain sebagainya. Limbah dalam bentuk cair dapat dikendalikan dengan beberapa cara seperti membangun fasilitas pengolahan air limbah, membangun saluran sanitasi, membangun septic tank, menurunkan zat pencemar dengan bahan-bahan alami (zeolite, arang aktif, bio filter, dll)

Menurut Santoso dkk., (2019) lindi merupakan cairan sampah yang berasal dari hasil perkolasi air kedalam timbunan sampah akibat dari proses dekomposisi sampah padat. Cairan sampah akan mengisi rongga yang ada pada sampah, dimana jika kapasitasnya sudah melampaui tekanan air yang terdapat pada sampah, maka cairan tersebut akan keluar dan bahan-bahan organik dan anorganik hasil dari proses kimia, biologis, dan fisika akan terekstraksi. Komponen-komponen berbahaya ini dapat terinfiltrasi ke dalam tanah sehingga tanah dan air tanah akan tercemar. Pada permukaan tanah air lindi juga dapat mengalir (*run off*) yang akan bermuara di badan air. Salah satu sumber penghasil lindi dalam jumlah besar adalah TPA. Karakteristik dan komponen yang terdapat pada air lindi di suatu TPA umumnya berbeda-

beda tergantung dari komposisi dan material sampah yang tertimbun di dalam landfill.

Pada air lindi juga terdapat senyawa-senyawa logam terlarut seperti Mg, Fe, Pb, dan Zn. Logam berat pada air lindi umumnya berasal dari limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), seperti baterai, kabel listrik, cat pelapis anti karat, dan material lain yang terbuat dari besi (Agriani & Rachmawati S Dj, 2018). Beberapa parameter yang telah ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/MenLhk/Setjen/kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi bagi kegiatan TPA dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Lindi

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

Sumber : *Permen LHK Nomor 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi*

2.2. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah padatan yang memiliki permukaan internal yang luas dengan volume pori-pori yang besar. Ciri unik karbon aktif yakni bekerja sebagai penyerap, yang berfungsi di berbagai fase seperti gas dan liquid. Karbon aktif disebut juga dengan adsorben yang sangat multiguna dikarenakan mempunyai volume ukuran dan di dalam matriks karbon distribusi pori-pori dapat dikendalikan sesuai kebutuhan saat ini dan pasar (Muji dkk., 2018).

Menurut Ramadhani dkk., (2020) karbon aktif umumnya dimanfaatkan sebagai penghilang bau dan penjernihan warna pada pengolahan air dan industri minuman ,

penghilang zat warna pada pabrik gula, penghilang sulfur, sebagai katalisator, penghilang gas beracun dan bau busuk gas saat proses pemurnian gas, dan lain sebagainya.

2.2.1. Standar Kualitas Karbon Aktif

Pada proses pembuatan karbon aktif, ada beberapa standar kualitas dan kelayakan suatu karbon aktif, tergantung dari material dasar yang digunakan, teknologi, proses pengerjaan, dan ketepatan penggunaannya. Indonesia sendiri sudah membuat standar mutu karbon aktif yakni menurut SII 0258-79 yang kemudian direvisi menjadi SNI 06-3730 (1995). Meskipun kita sudah mempunyai standar kualitas arang aktif, beberapa instansi dan industri membuat standar sendiri menyesuaikan dengan kualitas karbon yang dibutuhkan. Menurut Cundari dkk., (2016) standar kualitas karbon aktif yang tercantum pada SNI 06-3730-1995 yang terdapat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Kualitas Karbon Aktif

Parameter	Persyaratan Kualitas
Kadar abu	Maks. 10%
Kadar air	Maks. 15%
Kadar karbon terikat	Min. 65%
Kadar zat mudah menguap	Maks. 25%
Daya serap iodin	750 mg/g
Daya serap terhadap benzena	Maks. 25%

(Sumber : SNI 06-3730-1995)

2.2.2. Karbonisasi

Karbonisasi ialah metode yang digunakan untuk menghasilkan arang sebagai produk utama, dengan proses pemanasan biomassa seperti kelapa sawit, tempurung kelapa, kayu dan lain-lain. Dalam proses karbonisasi, akan terjadi proses perubahan dari suatu zat organik menjadi karbon. ketika pembuatan arang aktif berlangsung, karbonisasi dilakukan dengan cara membakar biomassa untuk menghilangkan beberapa kandungan yang tidak diperlukan oleh karbon seperti hidrogen, air, oksigen dan material-material yang mudah menguap (Ridhuan & Suranto, 2017).

2.3. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses dimana fluida (baik cair maupun gas) akan mengalami pengikatan pada suatu padatan sehingga permukaan padatan tersebut akan membentuk lapisan tipis. Proses adsorpsi terbagi menjadi dua yaitu adsorpsi secara fisika dan secara kimia. Adsorpsi fisika terjadi akibat dari pengaruh gaya *Van der Waals*. Apabila molekul yang terdapat pada zat terlarut mengalami gaya tarik menarik yang lebih besar dengan adsorben dari pada gaya tarik antara molekul dengan pelarutnya maka zat terlarut tersebut akan teradsorpsi. Ikatan yang dihasilkan dari proses ini sangat lemah, sehingga dapat dipisahkan jika konsentrasi zat terlarut yang teradsorpsi diubah. Proses adsorpsi fisik terjadi secara bolak balik. Untuk proses adsorpsi secara kimia, ikatan antara adsorben dan zat terlarut yang teradsorpsi sangat kuat. Adsorpsi ini dapat terjadi diakibatkan terbentuknya ikatan kimia antara molekul yang terdapat dalam media dengan substansi terlarut dalam larutan. Adsorbat yang akan teradsorpsi akan semakin banyak jika permukaan adsorben semakin luas. Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben. Adsorpsi secara kimia tidak mudah diputuskan, yang menjadikan adsorbat sulit untuk dilepaskan dan proses hampir tidak mungkin untuk bolak-balik (Sari & Afdal, 2017).

Adsorpsi dapat terjadi karena adanya energi pada permukaan dan gaya tarik-menarik permukaan. Setiap permukaan mempunyai sifat yang berbeda, tergantung susunan yang terdapat pada molekul-molekul adsorben. Setiap molekul yang terdapat

didalam interior dikelilingi oleh molekul-molekul lainnya, sehingga gaya tarik menarik antar molekul akan sama besar, setimbang ke segala bagian. Pada molekul yang terdapat dipermukaan hanya mampu melakukan gaya tarik menarik kearah dalam. Adapun istilah yang sering dipakai pada proses adsorpsi yakni adsorbat dan adsorben, dimana adsorbat merupakan zat yang diserap sedangkan adsorben merupakan media penyerapnya (Pratama dkk., 2017).

2.4. Aktivasi

Aktivasi merupakan proses perlakuan terhadap karbon aktif yang bertujuan agar membuka pori-pori pada karbon yakni dengan cara memisahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul pada permukaan karbon aktif hingga berubah sifatnya, baik fisika maupun kimia, sehingga permukaan karbon aktif dapat bertambah luas dan berpengaruh terhadap daya jerap adsorpsi. Luas permukaan berhubungan erat dengan aktivasi dikarenakan reaksi terjadi pada permukaan. Semakin besar luas permukaan maka semakin banyak molekul-molekul pada zat pereaksi yang teradsorpsi pada permukaan sehingga aktivitas nya akan bertambah besar.

Proses aktivasi dapat dilakukan secara kimia dan fisika. Prinsip aktivasi kimia adalah melakukan perendaman adsorben dengan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Proses ini diawali dengan perendaman adsorben dalam larutan pengaktivasi selama 24 jam, lalu disaring dan dipanaskan dengan suhu 600-900 °C selama 1 hingga 2 jam tanpa oksigen. Suhu yang panas akan menyebabkan bahan pengaktif masuk diantara renggangan lapisan heksagonal dan selanjutnya membuka permukaan yang masih tertutup. Adapun aktivator yang umum digunakan untuk aktivasi kimia yakni HCl, NH₄Cl, H₃PO₄, HNO₃, AlCl₃, NaOH, KOH, SO₃, KMnO₄, K₂S dan H₂SO₄ (Muji dkk., 2018).

Proses aktivasi secara fisika yakni akan berlangsung pemisahan rantai karbon dari senyawa-senyawa organik dengan bantuan suhu yang tinggi. Pemanasan diatas temperatur 800°C sampai 1100°C dapat mengeluarkan molekul-molekul air yang

terjebak pada rangka kristal, dimana dua gugus OH^- yang berdampingan akan membebaskan satu molekul air. Aktivasi fisika disebut juga dengan aktivasi termal. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil akhir aktivasi yakni laju kenaikan suhu, suhu proses, *activating agent*, dan alat yang diaplikasikan pada proses tersebut.

2.4.1. Asam Klorida (HCl)

Asam klorida (HCl) adalah suatu senyawa kimia yang bersifat monoprotik yaitu dapat melepaskan satu ion hidrogen hanya sekali per molekul di dalam larutan. Larutan asam klorida dapat terurai dalam larutan dan mengeluarkan panas. Kelarutan asam klorida di dalam air pada suhu kamar mencapai 42% berat. Larutan asam klorida juga dapat bereaksi dengan logam dan larutan yang mengandung besi, klorin dan bahan organik lainnya akan berubah kekuningan (Ika, 2017). Adapun sifat fisika asam klorida dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.3 Sifat Fisika Asam Klorida

Rumus Molekul	HCl
Berat Molekul	36,461 gr/mol
Titik leleh	-114,1 °C
Titik didih (1 atm)	-85 °C
Kemurnian	99 % berat
Temperatur kritis	51,5 °C

(Sumber : Ika., 2017)

Asam klorida bersifat korosif dan asapnya sangat menyengat, akan berbahaya bagi kesehatan jika terhirup dalam jumlah yang berlebihan. Sifat kimia asam klorida yakni mudah larut dalam air, alkohol, eter serta dapat melarutkan magnesium

hidroksida. Asam klorida berperan sebagai aktivator yang bersifat higroskopis, yakni mampu menyerap molekul air sehingga dapat menghilangkan kandungan air yang terdapat pada karbon aktif. Asam klorida memiliki daya jerap ion yang baik dan dapat melarutkan zat pengotor pada karbon aktif sehingga lebih banyak pori-pori yang terbentuk dan proses adsorpsi lebih maksimal (Huda dkk., 2017).

2.4.2. Asam Fosfat (H_3PO_4)

Asam fosfat (H_3PO_4) merupakan mineral (anorganik) asam yang dikenal juga sebagai ortofosfat. Asam fosfat memiliki sifat-sifat seperti titik didih $158^\circ C$, densitas $1,71 \text{ g/cm}^3$, $pH < 0,5$, titik lebur $21^\circ C$, tekanan uap 2 hPa, viskositas kinematik $30,5 \text{ mm}^2/\text{s}$, dapat korosi dengan logam, serta menyebabkan kerusakan mata dan kulit terbakar (Hasibuan, 2020). Aktivasi menggunakan asam fosfat umumnya diterapkan pada bahan-bahan yang mengandung lignosellulosa seperti kulit buah, kayu dan limbah pertanian. Karbon aktif teraktivasi H_3PO_4 dapat menghasilkan produk karbon yang memiliki mikropori maksimum pada kondisi operasi suhu $< 450^\circ C$. Asam fosfat sering dijadikan aktivator karena proses penetralan produk karbon yang mudah dan tidak meninggalkan residu di lingkungan (Esterlita & Herlina, 2015).

2.4.3. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat (H_2SO_4) merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua kepekatan. Asam sulfat memiliki beberapa kegunaan dalam proses pembuatan pada produk-produk industri kimia. Asam sulfat memiliki beberapa sifat fisik dan kimia seperti titik didih $336,85^\circ C$, titik leleh $10,31^\circ C$, berat molekul $98,08 \text{ g/mol}$, viskositas 2,4-2,9 Cp, berbau, bening dan tidak berwarna. Asam sulfat sering dijadikan aktivator karena memiliki unsur-unsur mineral yang dapat meresap ke dalam karbon aktif sehingga dapat menghilangkan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa pengarangan sehingga luas permukaan pada karbon aktif semakin besar (Munawarah dkk., 2015).

2.5. Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Plastik merupakan suatu polimer, yakni material yang terdiri dari molekul-molekul identik yang membentuk atom atau disebut sebagai monomer. Plastik dibagi menjadi dua kelompok menurut ketahanannya terhadap perubahan suhu yaitu, jenis plastik *thermoplastic* dan jenis *thermosets*.

Tabel 2.4. Jenis-jenis Plastik

No Kode	Jenis Plastik	Penggunaannya
1	HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Wadah Botol kosmetik ,botol shampo, jerigen dan wadah oli
2	PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Wadah Botol kosmetik, botol air minum, botol sambal dan botol obat.
3	LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Plastik kresek, wadah plastik pembungkus makanan, dan berbagai plastik tipis lainnya
4	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Pipa bangunan, pipa air, wadah shampo, & taplak meja.
5	PP (<i>Polypropylene</i>)	Cup plastik, gelas kemasan air mineral, dan mainan anak-anak
6	PS (<i>Polystyrene</i>)	Tempat makanan dari sterofom, sendok dan garpu plastik,
7	<i>Other</i> (O)	Galon air minum, alat-alat rumah tangga, botol susu bayi dan lainnya.

(sumber : Landi & Arijanto, 2017)

Jenis plastik *thermoplastic* dapat dicetak berulang kali dengan cara diberi panas karena dapat melebur pada suhu tertentu. Jenis plastik ini umumnya mengikuti perubahan suhu atau memiliki sifat *reversible* (dapat berubah ke bentuk awal atau mengeras jika diperlukan). Adapun contoh plastik *thermoplastic* antara lain yakni *polyethylene terephthalate* (PET), *polyvinyl chloride* (PVC), *polystyrene* (PS) dan *polypropylene* (PP),. Sedangkan jenis plastik *thermosets* tidak mampu mengikuti

perubahan suhu sehingga tidak dapat dicetak kembali. Jika dilakukan perlakuan dengan memanaskan dengan suhu yang sangat tinggi maka akan terlepas ikatan silang antar rantai polimer. Umumnya sifat polimer *thermosets* sangat kaku dan keras, semakin dipanaskan akan semakin keras dan membentuk arang. Contoh plastik *thermosets* antara lain, *urea formaldehyde*, epoksi, *polyurethane*, dan lain-lain (Okatama, 2017).

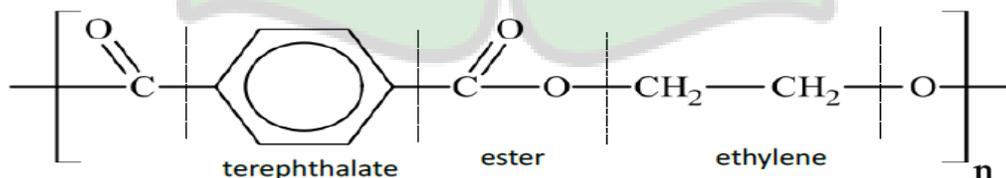
Polyethylene terephthalate (PET) merupakan salah satu jenis thermoplastic dari kelompok polyester yang terbuat dari *ethylene glycol* dan *terephthalic acid* yang mempunyai rantai karbon yakni $C_{10}H_8O_4$. PET merupakan plastik yang dimensinya stabil, tahan terhadap api, tidak beracun, bersifat jernih, lentur, kuat dan permeabilitas terhadap gas maupun air. Plastik jenis ini sering digunakan di beberapa sektor industri, dan juga dapat ditemukan di kehidupan sehari-hari seperti pada kemasan air minum, kemasan selai, sirup, dan wadah makanan lainnya (Cundari dkk., 2016).



Gambar 2.1. Botol Plastik PET

(Sumber : Suminto 2017)

PET memiliki sifat elektrikal yang baik. Plastik ini akan mengeluarkan zat karsinogenik apabila dipakai berulang-ulang seperti mewadahi air panas. Struktur polimer pada kemasan akan meleleh sehingga jika dikonsumsi akan menyebabkan kanker (Suminto, 2017).



Gambar 2.2. Struktur Plastik PET.

(Sumber : Pelita, 2019)

2.6. Logam Berat

Menurut Irhamni dkk., (2017) massa jenis logam berat adalah lebih dari 5g/cm^3 . Logam berat dapat bersifat *toxic* (racun) dan menimbulkan efek-efek khusus terhadap organisme jika terpapar dalam jumlah berlebih. Macam-macam logam berat yakni, merkuri (Hg), timbal (Pb), cadmium (Cd), seng (Zn), besi (Fe), dan lain sebagainya. Logam berat dapat kita temui secara alami yang melimpah di alam maupun hasil pengolahan industri seperti, industri pertambangan, industri pelapisan logam, proses penghilang cat dan industri pengolahan bijih logam. Logam berat juga sering kita temukan di perairan dasar dan dapat menyatu dengan sedimen sehingga menyebabkan kontaminasi logam berat pada sedimen umumnya lebih besar.

2.6.1. Logam Fe

Besi (Fe) merupakan salah satu logam berat yang berada pada urutan keempat terbanyak yang ada di kerak bumi. Besi memiliki konfigurasi $3d^6 4s^2$ dengan nomor atom 26 (Rachmasari & Sugiarso K. S., 2017). Besi yang terlarut didalam air dapat berupa kation ferri (Fe^{3+}) atau kation ferro (Fe^{2+}) (Firmansyah A dkk., 2013). Ion besi dengan bilangan oksidasi +2 merupakan ion yang sangat reaktif dan tidak stabil, sedangkan Ion besi dengan bilangan oksidasi +3 merupakan besi yang stabil. Keberadaan besi yang melebihi 1 mg/L dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik serta pada $\text{pH} < 5$ besi sangat mudah terlarut dan kadar toksisitasnya semakin meningkat (Supriyantini & Endrawati, 2015).

Besi tidak hanya terdapat di alam namun juga terletak di tubuh makhluk hidup. Jumlah besi yang terdapat di dalam tubuh umumnya sebagian kecil, yaitu sekitar 0,006% dari berat tubuh makhluk hidup. Walaupun keberadaannya hanya sedikit, senyawa besi memiliki fungsi yang sangat penting bagi kehidupan. Pada manusia, besi ditemukan di dalam darah yang memiliki peranan penting dalam proses sintesis DNA. Besi juga berperan penting saat proses kinerja enzim seperti enzim reduktase, sitokrom oksidase, nitrit oksida, dan asonitase pada tubuh organisme. Besi memegang peranan dalam proses kesetimbangan hemoglobin yang melibatkan kesetimbangan redoks dalam proses pelepasan oksigen di sel-sel dan pengikatan

oksigen di paru-paru. Dalam bidang teknologi, besi oksida dapat digunakan sebagai pembuatan fotoelektrokimia sel surya, pita kaset, tinta kering, pewarna cat dan lain – lain (Ariyanti & Sugiarto, 2018).

Besi memiliki titik lebur yang rendah dan bersifat korosif. Jika besi terakumulasi dalam jumlah yang tinggi didalam tubuh akan berbahaya bagi kesehatan seperti, dapat menyebabkan iritasi mata dan kulit, mengganggu sistem pernapasan dan dapat mengakibatkan kanker untuk jangka waktu yang lama (Nurhaini & Affandi, 2017).

2.6.2. Pencemaran Fe

Beberapa industri yang menggunakan bahan dasar logam umumnya menyebabkan lingkungan tercemar, terutama di perairan. Cemar logam berat yang masuk kedalam ekosistem perairan zat-zat pencemarnya akan berkumpul dan akan terbawa arus. Proses pengendapan, proses pengenceran, dan dispersi yang terjadi di badan air akan memudahkan logam berat terakumulasi di dalam organisme pada perairan tersebut. Logam berat dengan konsentrasi tertentu akan berubah menjadi *toxic* bagi ekosistem perairan (Murraya dkk., 2018)

Logam berat termasuk dalam kategori zat kontaminan berbahaya. Kondisi ini disebabkan karena logam berat tidak dapat di degradasi (*non degradable*) oleh makhluk hidup di lingkungan sehingga menyebabkan logam berat dapat terakumulasi pada lingkungan (Warni dkk., 2017).

Besi (Fe) adalah salah satu elemen yang esensial bagi manusia, terutama berguna dalam proses pembentukan darah (hematopoiesis) yaitu proses sintesis hemoglobin. Meskipun Fe dibutuhkan bagi tubuh manusia, namun paparan Fe yang berlebihan dapat mengakibatkan dinding usus yang rusak. besi juga dapat terkumpul di dalam *alveoli* sehingga menurunkan fungsi paru-paru. Batas maksimal konsumsi elemen besi untuk balita atau anak-anak adalah 0,305-0,320 mg/kg berat badan dan untuk orang dewasa adalah 0,35-0,36 mg/kg berat badan tubuh menurut WHO, sedangkan batas toleransi logam besi pada dasar sedimen yaitu 40.000 mg/kg. Unsur besi yang masuk kedalam tubuh yang melebihi batas maksimal yang ditetapkan

WHO akan berakibat terganggunya sistem saraf dan juga mempengaruhi kerja ginjal pada tubuh manusia (Naschan dkk., 2017)

Salah satu contoh kasus pencemaran Fe yakni terjadi pada kegiatan industri pewarnaan ulang jeans di Kecamatan Candimulyo Magelang, air limbah hasil proses kegiatan ini dibuang langsung ke sungai tanpa ada pengolahan lebih lanjut, hal tersebut dapat mencemari dan membahayakan lingkungan sekitarnya. Hasil penelitian sebelumnya pada tahun 2017 menyatakan bahwa kadar logam berat Fe yang ditemukan pada limbah cair tersebut sebanyak 23,90 mg/l. Kadar logam Fe pada limbah ini melebihi batas baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Air Limbah dengan kadar maksimal untuk logam Fe yaitu 5 mg/l (Saswita dkk., 2018)

2.7. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah total oksigen yang diperlukan oleh bahan oksidan untuk menguraikan zat-zat organik secara kimiawi. Nilai COD umumnya lebih besar dari pada nilai BOD karena saat dilakukan pengujian COD, bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi. Seperti contoh, selulosa tidak dapat terukur dalam pengujian BOD karena saat proses reaksi biokimia selulosa sukar dioksidasi tetapi dapat terukur melalui uji COD. Hasil uji COD yang dianalisa selama 10 menit 96% akan sama dengan hasil uji BOD selama 5 hari (Novita HSB, 2018). Kandungan *Dissolved Oxygen* di perairan akan mengalami penurunan yang drastis jika kadar COD sangat tinggi sehingga dapat mengancam kehidupan organisme akuatik dan mengundang bau tak sedap (Setiyanto dkk., 2016).

BAB III

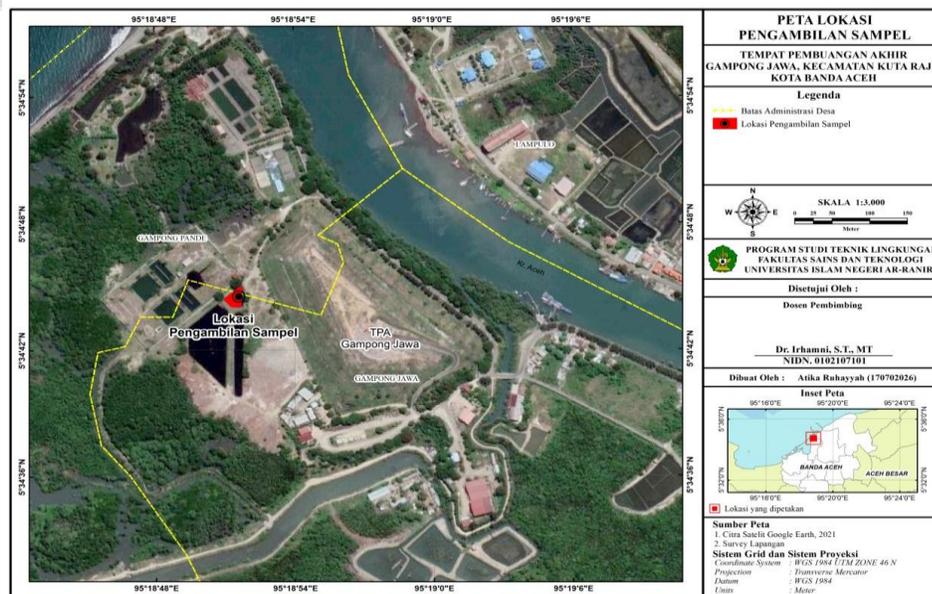
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Jadwal Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Lingkungan Universitas Serambi Mekkah dan Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Analisis awal kandungan polutan pada limbah lindi dilaksanakan di Laboratorium Balai Riset Standarisasi Industri Banda Aceh dan Laboratorium Teknik Pengujian Kualitas Lingkungan Universitas Syiah Kuala. Penelitian dilaksanakan selama ± 10 bulan yaitu mulai Maret hingga Desember 2021 dilanjutkan dengan pengolahan data dan penyusunan laporan.

3.2. Objek Penelitian

Objek penelitiannya adalah air limbah lindi yang tercemar Fe dan COD di TPA Gampong Jawa, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh. Pengambilan sampel dilakukan pada kolam maturasi (outlet) dengan metode *Grab sampling* (SNI-6989.59:2008).



Gambar 3.1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Tabel 3.1. Hasil Uji Pendahuluan

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu
1	Besi (Fe)	mg/L	1,5997	1 *
2	TSS	mg/L	82,0	100 **
3	COD	mg/L	3.636,08	300 **
4	BOD	mg/L	54,12	150 **
5	pH	-	8,4	6-9 **
6	Merkuri (Hg)	mg/L	Tidak Terdeteksi	0,005**
7	Kadmium (Cd)	mg/L	0,005	0,1 **

(Sumber: *Laboratorium Lingkungan Universitas Syiah Kuala dan Laboratorium BARISTAND Aceh*)

Keterangan :

* = Permenkes RI Nomor 32 Tahun (2017) Tentang Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi

** = Permen LHK Nomor 59 Tahun (2016) Tentang Baku Mutu Lindi

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

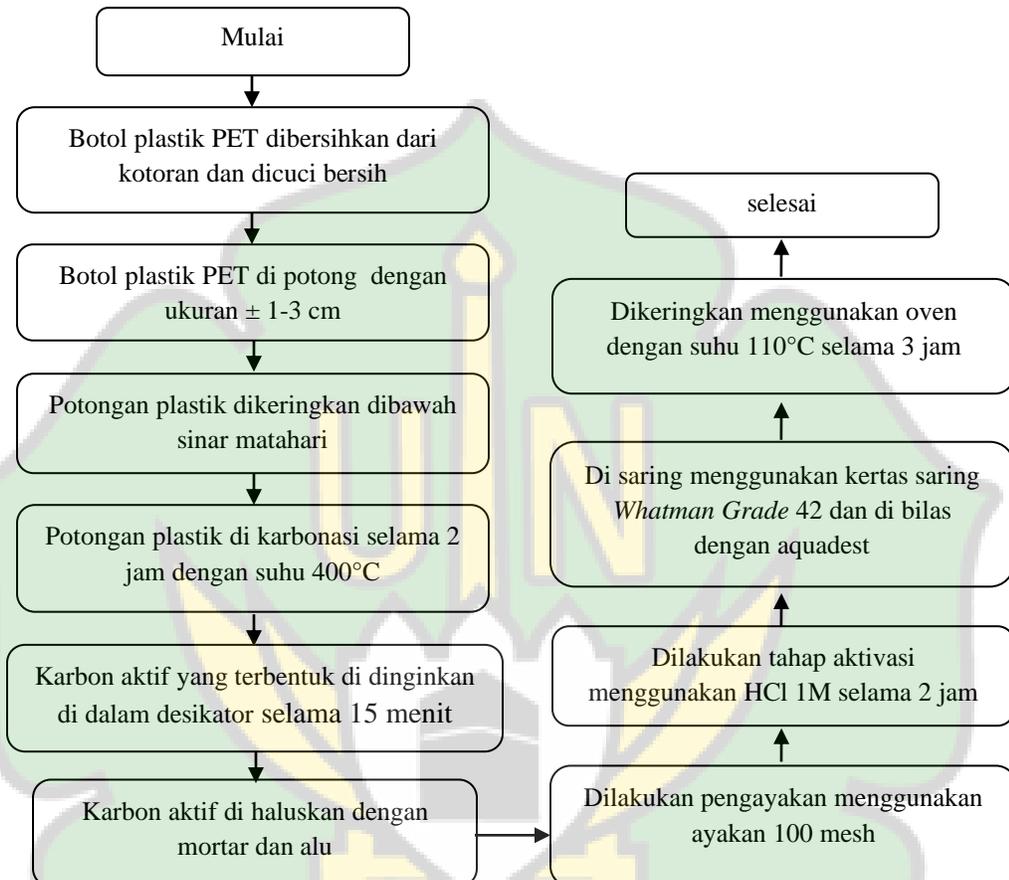
2.3.1 Alat

- | | |
|--------------------|--------------------|
| a. Furnace | j. Jartest |
| b. Oven listrik | k. Pipet ukur |
| c. Ayakan 100 mesh | l. Mortar dan alu |
| d. Desikator | m. Kertas saring |
| e. Cawan porselen | n. Jerigen |
| f. Cawan petri | o. Erlenmeyer |
| g. Beaker glass | p. Batang pengaduk |
| h. Neraca analitik | |
| i. Spatula | |

2.3.2 Bahan

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| a. Sampah plastik PET 500 g | d. Aquadest |
| b. Limbah lindi 3 L | |
| c. HCl 1M | |

3.4. Pembuatan Karbon Aktif



Gambar 3.2. Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif

Sampah plastik jenis *polyethylene terephthalate* dicuci bersih lalu dipotong kecil-kecil dengan ukuran 1-3 cm, setelah itu dikeringkan dibawah sinar matahari. Potongan sampah plastik ini kemudian diletakkan di cawan porselen lalu dibakar dalam furnace selama 2 jam dengan suhu 400°C. Adsorben yang terbentuk didinginkan selama 15 menit di dalam desikator. Sampah plastik yang berbentuk karbon ini kemudian dihaluskan dengan mortar dan alu. Setelah itu karbon aktif dilakukan pengayakan dengan ayakan 100 mesh. Hasil pengayakan Karbon Aktif PET selanjutnya direndam menggunakan larutan HCl 1 M selama 2 jam. Kemudian,

karbon aktif dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 3 jam. (Ratnawati dkk., 2019).

Pembuatan larutan HCl 1 M dapat dilakukan dengan cara pengenceran yaitu dipipet 83 ml HCl 37% lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer, setelah itu dilarutkan dengan aquades sedikit demi sedikit hingga volume 1000 ml (Sari dkk., 2019)

3.5. Analisis karakteristik karbon aktif

Karakteristik karbon aktif sampah plastik *polyethylene terephthalate* yang akan diuji pada penelitian ini yakni kadar rendemen, kadar air (*moisture content*), dan kadar zat menguap .

3.5.1. Analisis Kadar Air

Diambil karbon aktif yang sudah ditimbang sebanyak 5 gram lalu diletakkan di cawan porselen yang telah diketahui beratnya dan diletakkan kedalam oven, atur temperatur sampai 105°C selama 1 jam . Kemudian karbon aktif sampah plastik didinginkan didalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang untuk menghitung kadar air (Pelita, 2019). Adapun rumus perhitungannya adalah berikut :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = massa cawan kosong (gr)

b = massa cawan kosong + sampel awal (gr)

c = massa cawan kosong + sampel akhir (gr)

3.5.2. Analisis Kadar Zat Menguap

Diambil karbon aktif yang sudah ditimbang sebanyak 20 gram dan dipanaskan di dalam *furnace* pada suhu 800-900°C selama 15 menit lalu didinginkan didalam desikator setelah itu ditimbang hasilnya (Pelita, 2019).

$$\text{Kadar zat menguap (\%)} = \frac{(b-a)-(c-a)}{b-a} \times 100\%$$

Keterangan :

a = massa cawan kosong (gr)

b = massa cawan kosong + sampel awal (gr)

c = massa cawan kosong + sampel akhir (gr)

3.5.3. Analisis Kadar Abu

Diambil karbon aktif yang sudah ditimbang sebanyak 1 gram dan dipanaskan dengan menggunakan *furnace* pada suhu 850°C selama 4 jam hingga menjadi abu lalu didinginkan didalam desikator. Setelah itu, ditimbang hasilnya (Diana, 2020).

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{c-a}{b-a} \times 100\%$$

Keterangan :

a = massa cawan kosong (gr)

b = massa cawan kosong + sampel awal (gr)

c = massa cawan kosong + sampel akhir (gr)

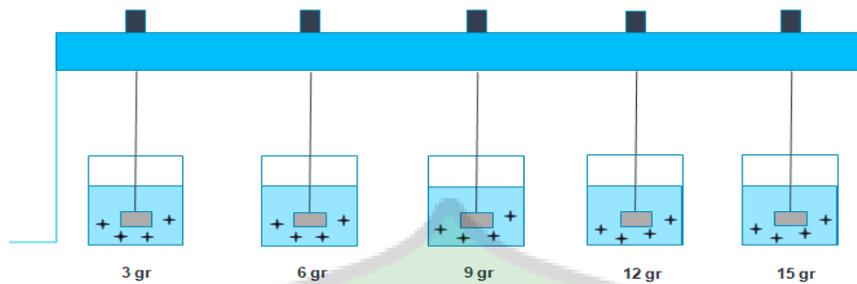
3.5.4. Analisis Kadar Karbon Terikat

Setelah diketahui hasil dari analisis perhitungan kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap, maka dapat dihitung kadar karbon terikat dengan rumus yakni :

$$\text{Karbon terikat (\%)} = 100\% - [\text{kadar air (\%)} + \text{abu (\%)} + \text{zat menguap (\%)}]$$

3.6. Pengujian Adsorben Pada Sampel

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan sistem *batch*. Disiapkan karbon aktif dari sampah plastik jenis *polyethylene terphthalate* yang telah teraktivasi HCl 1M. Siapkan 5 *beaker glass* dan masukkan 500ml limbah cair lindi kedalam masing-masing *beaker glass* (Ratnawati dkk., 2019). Lalu masukkan karbon aktif dengan variasi 3;6;9;12;15 gram. Selanjutnya dilakukan proses pengadukan menggunakan jartest selama 60 menit dengan kecepatan 150 rpm.



Gambar 3.3. Sketsa Pengujian Adsorben Pada Sampel

3.7. Analisis Kandungan COD

Metode pengukuran *Chemical Oxygen Demand* pada sampel limbah lindi ini mengacu pada SNI-6989.73 (2009) Tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi dengan Refluks Tertutup secara Titrimeter. Adapun tahapannya yakni :

1. Pembuatan Larutan Pereaksi Asam Sulfat

Dilarutkan 10,12 gram serbuk Ag_2SO_4 pada 1000 mL H_2SO_4 pekat lalu diaduk sampai homogen.

2. Pembuatan Larutan Baku Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,01667 M ($\approx 0,1\text{N}$) (digestion Solution)

- Di dalam air bebas organik 500 mL dilarutkan 4,903 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan pada temperatur 150°C selama 2 jam.
- Ditambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 gram HgSO_4 .
- Diencerkan Sampai 1000 mL dan didinginkan pada suhu ruang.

3. Pembuatan Larutan Indikator Ferroin

Dilarutkan 1,485 gram 1, 10-phenanthroline monohidrat dan 695 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dalam air bebas organik dan diencerkan sampai 100 mL.

4. Pembuatan Larutan Baku Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 M

- Dilarutkan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 19,6 gram dalam 300 mL air bebas organik.
- Ditambahkan 20 mL H_2SO_4 pekat.
- Ditempatkan sampai 1000 mL lalu didinginkan.

5. Pembuatan Larutan Asam Sulfamat ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$)

Ditambahkan 10 mg asam sulfamat untuk setiap mg $\text{NO}_2\text{-N}$ yang ada dalam contoh uji.

6. Pembuatan Larutan Baku Kalium Hidrogen Flatamat ($\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$, KHP) \approx COD 500 MG O_2/L

- a) KHP yang telah digerus perlahan dikeringkan hingga berat konstan pada temperatur 110°C .
- b) Dilarutkan 425 mg KHP didalam air bebas organik sebanyak 1000 mL.
- c) Larutan dapat digunakan hingga batas maksimum 1 minggu selama tidak terjadi pertumbuhan mikroba jika disimpan pada temperatur $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

7. Prosedur Kerja Pengujian COD

- a) Ditambahkan digestion solution pada contoh uji beserta larutan pereaksi asam sulfat ke dalam ampul atau tabung seperti yang dinyatakan dalam tabel 3.2.
- b) Ditutup tabung tersebut lalu dikocok perlahan agar homogen.
- c) Dipanaskan tabung dengan suhu 150°C selama 2 jam.
- d) Direfluks sampai suhu ruang lalu didinginkan contoh uji perlahan-lahan. Contoh uji sesekali dibuka dan ditutup untuk mencegah adanya tekanan gas.
- e) Pada proses titrasi contoh uji dipindahkan secara kuantitatif dari ampul ke dalam erlenmeyer.
- f) Ditambahkan indikator ferroin 0,05 mL – 0,1 mL atau 1 -2 tetes dan diaduk menggunakan *magnetik stirrer* sembari dititrasi dengan larutan baku FAS 0,05 M hingga terjadi perubahan warna dari hijau-biru menjadi coklat-kemerahan. Dicatat volume larutan FAS yang digunakan.
- g) Dilakukan langkah a hingga f terhadap air bebas organik sebagai blanko, Dicatat volume larutan FAS yang digunakan

Tabel 3.2. Contoh uji dan larutan pereaksi pada bermacam-macam digestion vessel

Digestion Vessel	Contoh uji (mL)	Digestion Solution (mL)	Larutan Pereaksi Asam Sulfat (mL)	Total Volume (mL)
Tabung kultur				
16 x 100 mm	2,50	1,50	3,5	7,5
20 x 150 mm	5,00	3,00	7,0	15,0
25 x 150 mm	10,00	6,00	14,0	30,0
Standar ampul 10 mL	2,50	1,50	3,5	7,5

8. Perhitungan

Adapun perhitungan nilai COD mg/L yakni :

$$COD \text{ mg/L} = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{mL contoh uji}}$$

Dimana A adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (mL) dan B adalah volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh uji (mL). M merupakan molaritas larutan FAS dan 8000 adalah berat miliequivalent Oksigen x 1000 mL/L.

3.8. Analisis Kandungan Fe

Metode yang digunakan untuk menganalisis kadar logam Fe mengacu pada (SNI-6989.4.2009) Tentang Cara Uji Besi Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Adapun tahapannya sebagai berikut :

1. Persiapan Contoh Uji

- a. Persiapan contoh uji Fe terlarut :
 - a) Disiapkan limbah contoh uji lalu dilakukan penyaringan dengan membran berpori 0,45 µm dan diawetkan.
- b. Persiapan contoh uji Fe total :

- a) Dihomogenkan limbah contoh uji, dipipet contoh uji sebanyak 50 ml kedalam labu erlenmeyer 100 ml.
 - b) Ditambahkan HNO_3 pekat sebanyak 5 ml, tutup erlenmeyer dengan corong penutup.
 - c) Dipanaskan perlahan hingga tersisa volumenya 15 ml -20 ml.
 - d) Ditambahkan lagi HNO_3 pekat sebanyak 5 ml jika destruksi belum sempurna. Diulangi proses ini sampai logam larut dan warna endapan pada limbah contoh uji menjadi agak jernih.
 - e) Dibilas corong penutup dan dimasukkan air bilasan tersebut ke erlenmeyer.
 - f) Dipindahkan limbah contoh uji masing-masing ke dalam labu ukur 50 ml (disaring jika perlu) lalu dihomogenkan dengan air bebas mineral.
- c. Pembuatan larutan induk logam Fe 100 mg/L
- a) Ditimbang logam fe sebanyak $\pm 0,100$ g, dimasukkan kedalam labu ukur 1000,0 mL.
 - b) Ditambahkan campuran 10 mL HCl (1+1) dan 3 mL HNO_3 pekat sampai larut (≈ 100 mg/L)
 - c) Ditambahkan 5 mL HNO_3 pekat lalu diencerkan menggunakan air bebas mineral hingga tanda tera.
 - d) Dihitung kembali kadar sesungguhnya berdasarkan hasil timbangan.
- d. Pembuatan larutan baku logam Fe 10 mg/L
- a) Dipipet 10,0 mL larutan induk logam Fe 100 mg/L dimasukkan kedalam labu ukur sebanyak 100,0 ml.
 - b) Ditempatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera dan dihomogenkan.
- e. Pembuatan larutan kerja logam Fe
- Dibuat deret larutan kerja dengan 1 blangko dengan minimal 3 kadar yang berbeda secara proporsional dan berada pada rentang pengukuran.

2. Pembuatan Kurva Kalibrasi

- Dioperasikan alat sesuai petunjuk informasi penggunaan alat SSA.
- Diaspirasikan larutan blanko ke dalam SSA kemudian diatur serapan hingga nol.
- Diaspirasikan larutan kerja dengan konsentrasi 0,0: 0,5: 1,0: satu persatu ke dalam SSA, lalu diukur jumlah serapannya menggunakan panjang gelombang 248,3 nm, setelah itu dicatat.
- Dilakukan pembilasan menggunakan larutan pengencer pada selang respirator.
- Dibuat kurva kalibrasi antara konsentrasi dan absorbansi

3. Pengukuran Contoh Uji

- Diaspirasikan contoh limbah uji ke dalam SSA dan diukur jumlah serapannya pada panjang gelombang 248,3 nm.
- Dicatat hasil pengukuran
- Dihitung kandungan logam besi Fe

$$Fe (mg/L) = C \times fp$$

Keterangan :

C : hasil pengukuran

Fp : faktor pengenceran

3.9. Analisis Data

Setelah didapatkan nilai dari pengukuran parameter Fe dan COD, maka dilakukan perhitungan akhir untuk mengetahui efisiensi penurunan beban pencemar yang terdapat pada limbah lindi. Adapun perhitungannya yakni :

$$E = \frac{Co - Ce}{Co} \times 100\%$$

Keterangan :

E = Efisiensi

Co = Konsentrasi awal

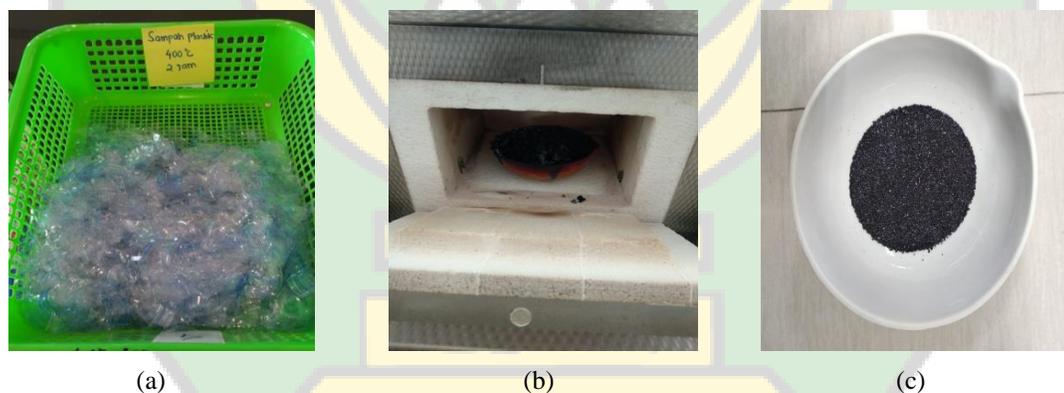
Ce = Konsentrasi setelah pengolahan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pembuatan Karbon Aktif Sampah Plastik PET

Pada penelitian ini, karbon aktif yang digunakan berasal dari sampah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang biasa ditemukan pada botol plastik kemasan minuman seperti kemasan minuman Aqua dan *Coca Cola*. Tahap awal yang dilakukan untuk mengkonversi sampah plastik menjadi karbon aktif adalah proses karbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Proses karbonisasi bertujuan untuk menghilangkan beberapa kandungan yang tidak diperlukan oleh karbon seperti air, oksigen, hidrogen, dan material-material yang mudah menguap (Ridhuan & Suranto, 2017). Hasil yang didapat untuk karbon aktif sampah plastik PET berupa padatan karbon dengan struktur yang keras dan mengkilat. Alur proses karbonisasi dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Proses Karbonisasi, (a) Sampel Plastik PET, (b) proses karbonisasi, dan (c) hasil karbonisasi

Sampel plastik PET yang digunakan untuk proses karbonisasi yakni sebesar 500 gram. Hasil akhir berat karbon aktif yang dihasilkan yakni sebesar 152,421 gram dengan nilai rendemen sebesar 30,4%. Karbon yang terbentuk lebih sedikit dikarenakan temperatur karbonisasi yang tinggi, sehingga menyebabkan polimer-polimer plastik di dalam furnace melunak dan struktur polimer terdekomposisi

menjadi senyawa monomer dengan berat molekul yang lebih rendah dan stabil (Pelita, 2019).

Karbon aktif yang terbentuk kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan alu lalu diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Berat karbon aktif yang didapatkan dari proses pengayakan yakni sebesar 87,537 gram. Hasil pengayakan tersebut diaktivasi menggunakan bahan kimia HCl 1 M selama 2 jam. Menurut Huda dkk., (2017) Aktivasi menggunakan HCl bertujuan untuk melarutkan zat pengotor pada karbon aktif sehingga zat pengotor yang menyumbat pori-pori karbon akan hilang dan pori-pori yang terbentuk semakin banyak. Setelah di aktivasi karbon aktif disaring menggunakan kertas saring lalu dilakukan pencucian dengan aquadest. Selanjutnya, dikeringkan adsorben dengan oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Berat karbon aktif setelah diaktivasi yakni sebesar 83,535 gram.

4.2. Karakterisasi Karbon Aktif Sampah Plastik PET

Pada penelitian ini, ada beberapa karakteristik karbon aktif dari sampah plastik PET yang dianalisa seperti, kadar air (*moisture content*), kadar abu (*ash*), kadar zat menguap (*volatile matter*), dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*). Adapun standar mutu karbon aktif mengacu pada SNI 06-3730-1995. Hasil analisa mutu karbon aktif dari sampah plastik PET dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisa Kualitas Karbon Aktif dari Sampah Plastik PET

No	Parameter	Hasil Analisa	Persyaratan Kualitas
1	Kadar Air	2,2 %	Maks. 15%
2	Kadar Abu	2,6%	Maks. 10%
3	Kadar Zat Menguap	62,2%	Maks. 25%
4	Kadar Karbon Terikat	33%	Min. 65%

(Sumber: Hasil Pengujian di Laboratorium, 2021)

Pada Tabel 4.1 di atas membuktikan bahwa hasil analisa kadar air karbon aktif dari sampah plastik PET sebesar 2,2 %, hasil ini telah memenuhi standar kualitas karbon aktif SNI 06-3730-1995. Pengujian kadar air bertujuan untuk melihat sifat higroskopis yang terdapat pada karbon aktif (Cundari dkk., 2016). Metode yang digunakan dalam menentukan kadar air adalah metode gravimetri, yakni penimbangan perbedaan bobot antara karbon aktif sebelum kandungan airnya menguap dan setelah diuapkan (Verayana dkk., 2018). Dalam proses karbonisasi, semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin meningkat pula air yang menguap sehingga kadar air nya semakin rendah (Huda dkk., 2017).

Hasil analisa kadar abu juga telah memenuhi standar kualitas karbon aktif SNI 06-3730-1995. Hasil yang didapatkan yakni sebesar 2,6%. Menurut Kusdarini dkk., (2017) nilai dari kadar abu menunjukkan jumlah sisa dari proses akhir pembakaran yakni berupa zat-zat mineral yang tidak hilang selama proses pembakaran berlangsung. Keberadaan abu dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori pada karbon aktif sehingga luas permukaan karbon aktif dapat berkurang.

Kadar zat menguap merupakan hasil dekomposisi kandungan senyawa yang mudah menguap selain air pada karbon aktif. Analisis kadar zat menguap ini bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang tidak menguap pada proses karbonisasi dan aktivasi berlangsung, tetapi menguap pada suhu 800 - 900°C . Pada penelitian ini, hasil analisa kadar zat menguap yakni sebesar 62,2%. Hasil ini tidak memenuhi standar kualitas karbon aktif SNI 06-3730-1995. Menurut Sa'diyah dkk., (2020) tinggi nya kadar zat menguap menunjukkan bahwa masih terdapat senyawa non karbon yang terjebak atau menempel pada permukaan karbon aktif seperti atom H dan atom O yang terikat kuat pada atom C. Interaksi antara karbon yang terbentuk dengan udara juga dapat mengakibatkan kadar zat menguap meningkat. Menurut Siahaan dkk., (2013) kadar zat menguap akan menurun jika karbon aktif dilakukan penambahan konsentrasi aktivator, waktu karbonisasi, dan suhu karbonisasi. meningkatnya suhu karbonisasi akan menguapkan senyawa *volatile* yang masih tertinggal di dalam pori (Hendrawan dkk., 2017)

Kadar karbon terikat merupakan jumlah karbon murni yang terkandung di dalam arang. Nilai kadar karbon terikat pada penelitian ini yakni sebesar 33%. Hasil ini tidak memenuhi standar kualitas karbon aktif SNI 06-3730-1995, hal ini disebabkan karena terjadi peningkatan kadar zat menguap yang mengakibatkan kadar karbon terikat menurun. Menurut Hartanto & Ratnawati., (2010) suhu yang digunakan pada saat proses karbonisasi akan mempengaruhi kualitas arang yang terbentuk termasuk kadar karbon terikat. Proses karbonisasi yang tidak sempurna juga menyebabkan rendahnya nilai karbon murni yang terbentuk pada karbon aktif. Untuk meningkatkan kadar karbon terikat dapat dilakukan penambahan variasi konsentrasi aktivator atau variasi zat pengaktivasi sehingga nilai kadar karbon terikat yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan kualitas arang aktif (Maulana dkk., 2017)

4.3. Pengaruh Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Penurunan Kadar Logam Fe

Pada penelitian kali ini dilakukan variasi dosis karbon aktif sampah plastik PET dengan ukuran partikel 100 mesh dan telah teraktivasi HCl 1M dalam menyisihkan kadar logam berat Fe. Volume limbah lindi saat perlakuan yakni sebesar 500mL dengan kecepatan pengadukan 150 rpm selama 60 menit.

Konsentrasi awal kadar Fe pada limbah lindi TPA Gampong Jawa sebelum diberi perlakuan karbon aktif yakni sebesar 3,005 mg/L. Nilai tersebut masih melebihi standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 yaitu sebesar 1 mg/L. Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa penambahan dosis karbon aktif yang telah teraktivasi HCl dapat menurunkan kadar logam Fe pada limbah lindi. Penambahan dosis karbon aktif sampah plastik PET 3 gram, 6 gram, 9 gram, 12 gram dan 15 gram dapat menurunkan kadar Fe berturut-turut sebesar 0.643 mg/L, 0.414 mg/L, 0.338 mg/L, 0.130 mg/L, dan 0.106 mg/L. Dosis adsorben yang paling optimal dalam menurunkan kadar Fe yaitu pada variasi dosis 15 gram dengan nilai konsentrasi akhirnya sebesar 0,106 mg/L. Nilai penurunan kadar Fe dimulai dari variasi dosis 3 gram hingga 15 gram sudah

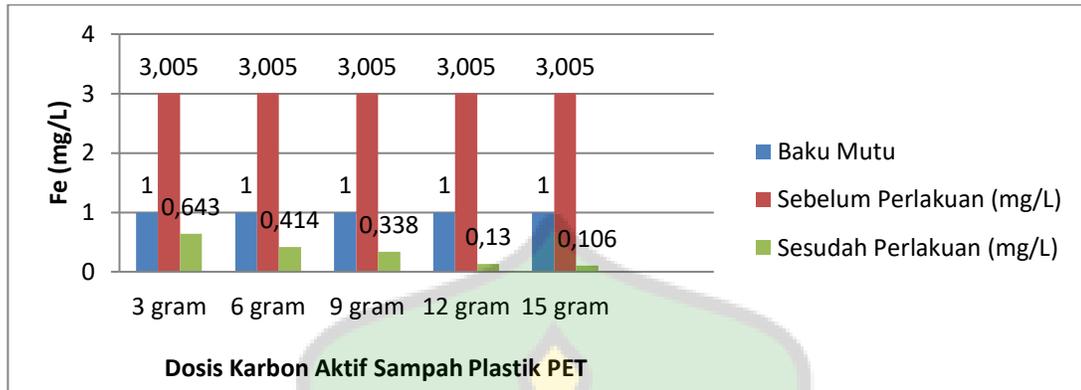
memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan. Kadar logam Fe pada limbah lindi selama proses adsorpsi disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai Kadar Fe Pada Limbah Lindi

No	Parameter	Dosis Karbon Aktif Plastik PET (gram)	Konsentrasi Sebelum Perlakuan (mg/L)	Konsentrasi Setelah Perlakuan (mg/L)
1	Fe (500mL)	3	3,005	0,643
2		6		0,414
3		9		0,338
4		12		0,130
5		15		0,106

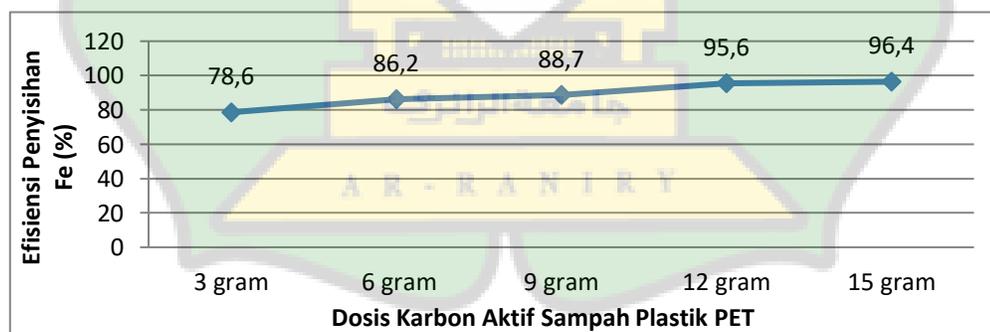
(Sumber: Hasil Pengujian di Laboratorium, 2021)

Kemampuan karbon aktif dari sampah plastik PET dalam mengadsorpsi atau menjerap kadar logam Fe pada limbah lindi cukup baik. Hal ini disebabkan karena pengaruh aktivator yang mampu membersihkan tar yang masih menempel pada dinding karbon aktif sehingga kontaminan Fe yang terdapat pada limbah lindi semakin mudah terjerap oleh adsorben (Verayana dkk., 2018). Aktivasi menggunakan HCl juga dapat membuat permukaan adsorben menjadi asam sehingga kapasitas karbon aktif sampah plastik PET menjadi lebih besar untuk menjerap ion Fe. Menurut Wulan Sari dkk., (2018) permukaan adsorben yang asam akan membentuk muatan positif pada adsorben karena asam klorida memiliki nilai ekuivalen H^+ yang tinggi. Aktivasi karbon aktif sampah plastik PET menggunakan HCl akan memperluas permukaan adsorben dan meningkatkan keasaman permukaan menjadi lebih besar sehingga kemampuan adsorpsi lebih tinggi dibandingkan tanpa aktivasi. Grafik hubungan variasi dosis karbon aktif terhadap penurunan Fe dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik hubungan variasi dosis karbon aktif sampah plastik PET terhadap penurunan Fe

Setelah mendapatkan nilai penurunan kadar Fe pada setiap Variasi dosis, maka dapat dihitung efisiensi penyisihan kadar Fe pada limbah lindi. Berdasarkan Gambar 4.3, variasi dosis terbaik karbon aktif dari sampah plastik PET teraktivasi HCl 1M dalam menyisihkan kadar Fe terdapat pada dosis 15 gram yaitu 96,4%. Untuk variasi dosis 3 gram, 6 gram, 9 gram, dan 12 gram dapat menurunkan kadar Fe dengan efisiensi sebesar 78,6%, 86,2%, 88,7% dan 95,6%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan akan meningkat seiring dengan meningkatnya dosis adsorben yang digunakan.



Gambar 4.3. Grafik hubungan variasi dosis karbon aktif sampah plastik PET terhadap efisiensi penyisihan Fe

Menurut Abd-Aziz dkk., (2019) ditemukan lebih dari 60% logam berat dapat dihilangkan dengan karbon aktif berbasis polimer, dan polimer PET yang telah

menjadi adsorben memiliki luas permukaan dan volume mikropori yang relatif tinggi. Ukuran partikel dan kontaminan juga berpengaruh terhadap penyisihan polutan. Menurut Ratnawati dkk., (2019) semakin kecil ukuran diameter adsorben maka persentase penurunan polutan akan semakin besar, hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran diameter karbon aktif maka luas permukaan kontak antara karbon aktif dengan polutan akan semakin besar sehingga proses adsorpsi semakin maksimal. Efisiensi penyisihan Fe dapat dilihat pada Gambar 4.3.

4.4. Pengaruh Variasi Dosis Karbon Aktif Sampah Plastik PET Terhadap Penurunan Kadar COD

Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan total oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik pada perairan secara kimiawi. Nilai COD menunjukkan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses biologis dan tinggi nya nilai COD mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam perairan. Jika kondisi seperti ini dibiarkan maka akan berdampak bagi organisme akuatik (Valentina dkk., 2013).

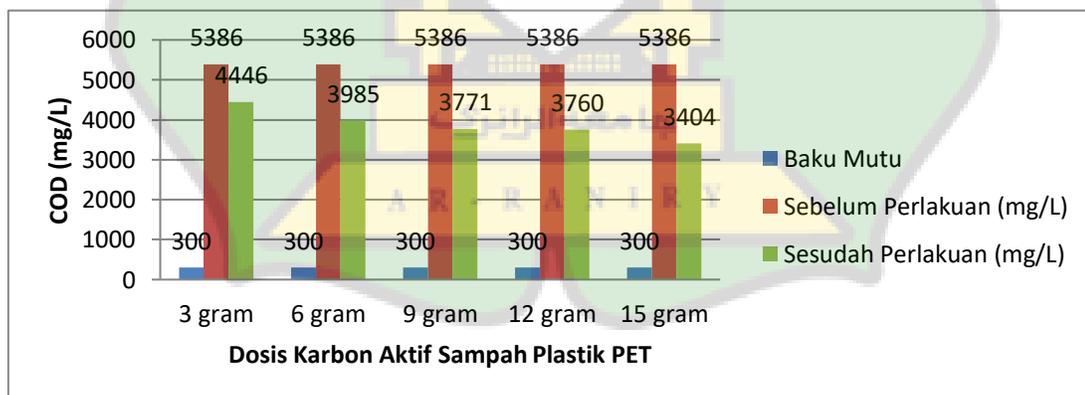
Tabel 4.3. Nilai Kadar COD Pada Limbah Lindi

No	Parameter	Dosis Karbon Aktif Plastik PET (gram)	Konsentrasi Sebelum Perlakuan (mg/L)	Konsentrasi Setelah Perlakuan (mg/L)
1	COD (500mL)	3	5386	4446
2		6		3985
3		9		3771
4		12		3760
5		15		3404

(Sumber: Hasil Pengujian di Laboratorium, 2021)

Berdasarkan tabel 4.3., dapat dilihat bahwa konsentrasi awal kadar COD sebelum diberi perlakuan menunjukkan hasil yang cukup tinggi yakni sebesar 5386 mg/L. Nilai tersebut masih melebihi standar yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 yakni sebesar 300 mg/L. Nilai COD yang tinggi menandakan banyaknya zat organik terlarut pada limbah lindi. Penurunan kadar COD beriringan dengan penambahan variasi dosis pada tiap-tiap sampel. Penambahan dosis karbon aktif sampah plastik PET 3 gram, 6 gram, 9 gram, 12 gram dan 15 gram dapat menurunkan kadar COD berturut-turut sebesar 4446 mg/L, 3985 mg/L, 3771 mg/L, 3760 mg/L, dan 3404 mg/L.

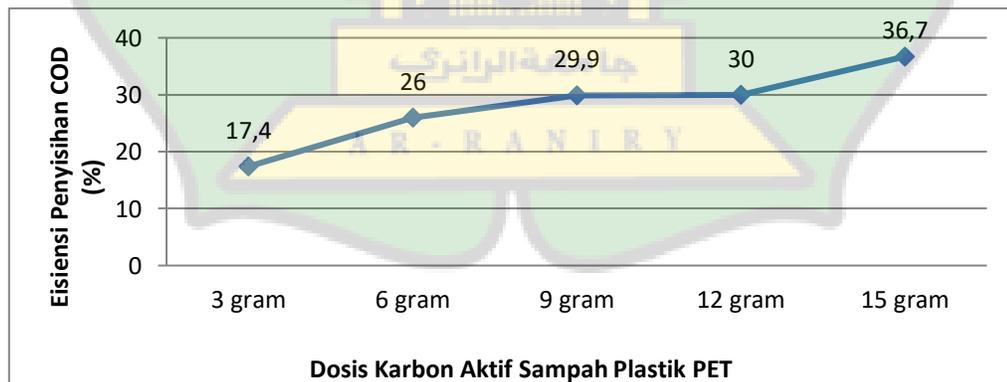
Dosis adsorben yang paling optimal dalam menurunkan kadar COD yaitu pada variasi dosis 15 gram dengan nilai konsentrasi setelah perlakuan sebesar 3404 mg/L. Hasil perlakuan karbon aktif dalam menurunkan nilai COD masih belum memenuhi baku mutu, namun penurunan yang cukup signifikan pada penelitian ini menjadikan nya sebagai karbon aktif yang cukup menjanjikan dalam proses pengolahan limbah lindi. Perbandingan variasi dosis karbon aktif dalam menyisihkan kadar COD disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.4. Grafik hubungan variasi dosis karbon aktif sampah plastik PET terhadap penurunan COD

Hasil analisis ini membuktikan bahwa kemampuan penyerapan karbon aktif sampah plastik semakin meningkat seiring dengan penambahan dosis karbon pada limbah lindi. Karbon aktif mempunyai struktur pori terbuka dan permukaan internal yang luas sehingga mampu mengadsorpsi partikel-partikel pencemar yang terdapat di air. Molekul-molekul adsorbat akan terperangkap dan memenuhi rongga pori yang terdapat pada permukaan karbon aktif. (Ratnawati dkk., 2019).

Setelah melihat kemampuan karbon aktif PET dalam menurunkan kadar COD pada limbah lindi, maka dapat dilihat efisiensi penyisihannya Pada Gambar 4.5. Semua perlakuan dari kelima variasi dosis karbon aktif mampu menyisihkan kadar COD pada limbah lindi. Variasi dosis karbon aktif 15 gram merupakan dosis optimal dalam menyisihkan COD dengan efisiensi sebesar 36,7%. Untuk variasi 3 gram, 6 gram, 9 gram, dan 12 gram dapat menurunkan COD dengan efisiensi 17,4%, 26%, 29,9%, dan 30%. Penyisihan zat pencemar dapat terjadi karena adanya ketidakstabilan pada permukaan adsorben sehingga adsorben membuat ikatan dengan zat lain agar mencapai kestabilan tersebut. Proses pengadukan limbah lindi dan karbon aktif juga membantu mengikat partikel organik dan menempel pada karbon aktif sehingga semakin besar penyisihan kadar COD yang terjadi (Wicheisa dkk., 2018)



Gambar 4.5. Grafik hubungan variasi dosis karbon aktif sampah plastik PET terhadap efisiensi penyisihan COD

BAB V

PENUTUP

1.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik karbon aktif dari sampah plastik PET teraktivasi HCl menghasilkan kadar air dan kadar abu yang telah memenuhi SNI 06-3730-1995 dengan nilai kadar air sebesar 2.2% dan kadar abu 2,6% sedangkan, kadar zat menguap dan kadar karbon terikat belum memenuhi SNI 06-3730-1995 dengan nilai kadar zat menguap sebesar 62,2%, dan kadar karbon terikat 33%.
2. Nilai efisiensi tertinggi dalam menurunkan kadar logam berat Fe dan COD pada limbah lindi didapatkan pada dosis 15 gram dengan efisiensi penurunan Fe sebesar 96,4% dan COD sebesar 36,7%. Kadar Fe setelah perlakuan sudah memenuhi baku mutu Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017 sedangkan kadar COD masih belum memenuhi baku mutu PermenLHK Nomor 59 Tahun 2016 yakni 300 mg/L

1.2. Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah perlu adanya penelitian lanjutan terkait variasi konsentrasi aktivator, variasi suhu karbonisasi, variasi waktu karbonisasi dan beberapa variasi tambahan seperti, kecepatan pengadukan serta waktu kontak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Aziz, N. H., Alias, S., Bashar, N. A. M., Amir, A., Abdul-Talib, S., & Tay, C. C. (2019). A short review: Potential use of plastic waste as adsorbent for various pollutants. *AIP Conference Proceedings*, <https://doi.org/10.1063/1.5117094>
- Agriani, S., & Rachmawati S Dj. (2018). Efisiensi Penyisihan Logam Fe Dengan Menggunakan Instalasi Pengolahan Lindi Compact (IPLC). *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2(1), 101–110. <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i1.2047>
- Ariyanti, D., & Sugiarso, D. (2018). Optimasi pH Larutan Penyangga dan Pereduksi K₂C₂O₄ untuk Penentuan Kadar Fe (II) -1,10-fenantrolin secara Spektrofotometri Sinar Tampak. *Akta Komindo*, 3(2), 190–202.
- Cundari, L., Yanti, P., & Syaputri, K. A. (2016). Pengolahan Limbah Cair Kain Jumputan Menggunakan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(3), 26–33.
- Diana. (2020). *Karakterisasi Karbon Aktif Serat Sagu Teraktivasi KOH Menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Universitas Cokroaminato Palopo.
- Esterlita, M. O., & Herlina, N. (2015). Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl₂, KOH, Dan H₃PO₄ Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelepah Aren (Arenga Pinnata). *Teknik Kimia USU*, 4(1).
- Firmansyah A, D., Yulianto, B., & Sedjati, S. (2013). Studi Kandungan Logam (Fe) Dalam Air, Sedimen Dan Jaringan Lunak Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn) Di Sungai Morosari Dan Sungai Gonjol Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Journal Of Marine Research*, 2(2), 45–54.
- Hartanto, S., & Ratnawati. (2010). Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1), 12–16.
- Hasibuan, A. (2020). *Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H₃PO₄) Dan Waktu Perendaman Karbon Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Dari Kulit*

Durian. Universitas Sumatera Utara.

- Hendrasarie, N., & Prihantini, R. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif Sampah Plastik Untuk Menurunkan Besi Dan Mangan Terlarut Pada Air Sumur. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(2), 136–146. <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i2.9256>
- Hendrawan, Y., Sutan, S. M., & Kreative, R. (2017). Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Activating Agent NaCl. *Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 5(3), 200–207.
- Huda, S., Dwi, R., & Kurniasari, L. (2017). Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bambu Ori (Bambusa Arundinacea) Yang Di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCL). *Inovasi Teknik Kimia*, 5(1), 22–27.
- Ika, L. W. B. P. (2017). Aktivasi Karbon Dari Sekam Padi Dengan Aktivator Asam Klorida (HCL) Dan Pengaplikasiannya Pada Limbah Pengolahan Baterai Mobil Untuk Mengurangi Kadar Timbal (pb). In *Agricultural and Biological Chemistry*. Universitas Sumatera Utara.
- Irhamni, Setiaty, P., Edison, P., & Wirsal, H. (2017). Serapan logam berat esensial dan non esensial pada air lindi TPA Kota Banda Aceh dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. *Serambi Engineering*, 2(3), 134–140.
- Iswadi, D., Nurisa, F., Liastuti, E., Kimia, J. T., Teknik, F., Pamulang, U., & Selatan, T. (2017). Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE Dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(2).
- Kusdarini, E., Budianto, A., & Ghafarunnisa, D. (2017). Produksi Karbon Aktif Dari Batubara Bituminus Dengan Aktivasi Tunggal H₃PO₄, Kombinasi H₃PO₄-Nh₄Hco₃, Dan Termal. *Reaktor*, 17(2), 74–80.
- Landi, T., & Arijanto. (2017). Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis Ldpe (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 1–8. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Maulana, G. G. R., Agustina, L., & Susi. (2017). Proses Aktivasi Arang Aktif Dari Cangkang Kemiri (Aleurites moluccana) Dengan Variasi Jenis Dan Konsentrasi

- Aktivator Kimia. *ZIRAA 'AH*, 42(3), 247–256.
- Muji, T., Setiawan, A., & Pamungkas, G. (2018). Pembuatan Karbon Aktif dari Hasil Pirolisis Ban Bekas Production of Activated Carbon from Waste Rubber Tyres Pyrolysis. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 54–58.
- Munawarah, S., Hanifah, T. A., & Bali, S. (2015). Potensi Arang Aktif Biji Alpukat (*Persea americana* Mill) Sebagai Adsorben Ion Kadmium (II) Dan Timbal (II) Dengan Aktivator H₂SO₄. *FMIPA, II*, 1–10. <http://repository.unri.ac.id/>
- Murraya, M., Taufiq-SPJ, N., & Supriyantini, E. (2018). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) dalam Air, Sedimen dan Kerang Hijau (*Perna Viridis*) di Perairan Trimulyo, Semarang. *of Marine Research*, 7(2), 133–140.
- Naschan, M., Tri, A., & Sumarni, W. (2017). Uji Validitas Analisis Logam Fe dalam Sedimen Sungai Kaligarang dengan FAAS dan ICP-OES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(1), 11–18.
- Nurhaini, R., & Affandi, A. (2017). Analisa Logam Besi (Fe) Di Sungai Pasar Daerah Belangwetan Klaten Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 2(1), 39–43. <https://doi.org/10.51352/jim.v2i1.44>
- Okatama, I. (2017). Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphthalate (Pet) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(3), 20. <https://doi.org/10.22441/jtm.v5i3.1213>
- Pelita, Y. T. (2019). *Pemanfaatan Produk Char Hasil Pirolisis Dari Sampah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Karbon Aktif*. Universitas Sumatera Utara.
- Permenkes, R. (2017). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian* (hal. 1–31).
- PermenLHK, R. (2016). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah* (hal. 1–12).

Berita Negara.

- Pratama, D. A., Noor, A. M. A., & Sanjaya, A. S. (2017). Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe Dan Cu Pada Air Sungai Mahakam. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), 131–138. <https://doi.org/10.36055/jip.v6i3.1560>
- Rachmasari, N. A., & Sugiarto K. S., R. D. (2017). Analisis Pengaruh Ion Cd(II) Pada Penentuan Ion Fe(II) dengan Pengompleks 1,10-Fenantrolin Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6(1), 2–7. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i1.22626>
- Ramadhani, L. F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>
- Ratnawati, R., Amalia, S., & Sasmita, A. (2019). Karbon Aktif dari Sampah Plastik Polietilena sebagai Adsorben untuk Pengolahan Air Limbah Laundry. In S. Aryo, S. Elystia, & G. Priambada (Ed.), *Seminar Nasional Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan Tropis* (Nomor 978, hal. 55–63).
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2017). Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 50–56. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.119>
- Ruhmawati, T., Budiasyah, T., & Setiawan, R. (2020). Efisiensi Penyisihan Kadar Amoniak Limbah Cair Rumah Sakit dengan Proses Adsorpsi Karbon Aktif Biji Plastik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 19(2), 82–88. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.82-88>
- Sa'diyah, K., Lusiani, C. E., Chrisnandari, R. D., Witasari, W. S., Aula, D. L., & Triastutik, S. (2020). Pengaruh Proses Aktivasi Kimia Terhadap Karakteristik Adsorben dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* L.). *Jurnal Chemurgy*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.30872/cmg.v4i1.4074>
- Santoso, B., Laili, S., & Rahayu, T. (2019). Pengaruh Air Lindi dan Bio Slurry Sebagai Pupuk Organik Cair Terhadap Pertumbuhan Tanaman Mentimun (

- Cucumis sativus L). *Jurnal Ilmiah Sains Alami*, 1(2), 7–12.
- Sari, R. N., & Afdal. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 93–99. <https://doi.org/10.25077/jfu.6.1.93-99.2017>
- Sari, W. M., Syafriadi, & Suka, E. G. (2019). Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Alpukat (*Persea americana* M.) sebagai Inhibitor pada Baja SS-304 dalam Larutan HCl 1M. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 07(02), 207–214.
- Saswita, N., Sulistiyani, & Setiani, O. (2018). Penggunaan Kapur Tohor (CaO) Dalam Penurunan Kadar Logam Fe Dan Mn Pada Limbah Cair Pewarnaan Ulang Jeans Kabupaten Magelang Tahun 2017. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro*, 6, 662–669. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Setiawati, D. A., Putra, G. M. D., Khalil, F. I., Zulfikar, W., & Hirjani, H. (2019). Aplikasi Kombinasi Filter Bertingkat Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe Di Kelurahan Kekalik Jaya Kota Mataram. *Abdi Insani*, 6(1), 13. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v6i1.186>
- Setiyanto, R. A., Darundiati, Y. H., & Joko, T. (2016). Efektivitas Sistem Constructed Wetlands Kombinasi Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Dan Karbon Aktif Dalam Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Rumah Sakit Banyumanik Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(1).
- Siahaan, S., Hutapea, M., & Hasibuan, R. (2013). Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Arang Dari Sekam Padi. *Teknik Kimia usu*, 2(1), 26–30.
- Silaban, D., Sulistyani, S., & Rahardjo, M. (2017). Efektivitas Variasi Dosis Ferri Klorida (FeCl₃) Sebagai Koagulan Dalam Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Air Lindi Tpa Jatibarang Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro*, 5(1), 438–443.
- SNI-06-3730-1995. (1995). Arang Aktif Teknis. *Badan Standardisasi Nasional*, 33–36.

- SNI-6989.4:2009. (2009). Air dan Air Limbah - Bagian 6: Cara Uji Besi (Fe) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) - Nyala. *Badan Standardisasi Nasional*. <https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/3890>
- SNI-6989.59:2008. (2008). Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. *Badan Standardisasi Nasional*.
- SNI-6989.73:2009. (2009). Air dan air limbah – Bagian 73: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/ COD) dengan refluks tertutup secara titri metri. *Badan Standardisasi Nasional*.
- Sudarwin. (2008). *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang*. Universitas Diponegoro Semarang.
- Suminto, S. (2017). Ecobrick: Solusi Cerdas dan Kreatif untuk Mengatasi Sampah Plastik. *Productum: Jurnal Desain Produk (Pengetahuan dan Perancangan Produk)*, 3(1), 26–34.
- Supriyantini, E., & Endrawati, H. (2015). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Emas Semarang Endang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1), 38–45. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1962.tb01105.x>
- Valentina, A. E., Sundari, S., Miswadi, & Latifah. (2013). Pemanfaatan Arang Eceng Gondok Dalam Menurunkan Kekeruhan, COD, BOD, Pada Air Sumur. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(2252).
- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Warni, D., Karina, S., & Nurfadillah, N. (2017). Analisis Logam Pb, Mn, Cu, dan Cd pada Sedimen Di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(2), 246–253.
- Wicaksono, A. M., & Arijanto. (2017). Pengolahan Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan

Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 9–15.

Wicheisa, F. V., Hanani, Y., & Astorina, N. (2018). Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Cair Laundry Orens Tembalang Dengan Berbagai Variasi Dosis Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6), 135–142. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>

Wulan Sari, T. I., Muhsin, M., & Wijayanti, H. (2018). Pengaruh Metode Aktivasi Pada Kemampuan Kaolin Sebagai Adsorben Besi (Fe) Air Sumur Garuda. *Konversi*, 5(2), 20. <https://doi.org/10.20527/k.v5i2.4768>



LAMPIRAN A.

Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus				September				Oktober				November				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																																								
Pengumpulan Data																																								
Persiapan Alat dan Bahan																																								
Pengambilan Sampel uji pendahuluan																																								
Seminar Proposal																																								
Pembuatan dan Pengujian Adsorben																																								
Analisa Laboratorium																																								
Pengolahan Data dan Penyusunan Laporan																																								

LAMPIRAN B

Dokumentasi Penelitian

No	Gambar	Keterangan
1		Pengumpulan sampah plastik PET
2		Plastik PET yang telah dibersihkan
3		Plastik PET dipotong kecil-kecil

4		<p>Proses pengambilan sampel limbah lindi (SNI-6989.59:2008)</p>
5		<p>Proses karbonisasi</p>
6		<p>Penumbukan karbon aktif</p>

7		<p>Pengayakan 100 mesh karbon aktif sampah plastik PET</p>
8		<p>Proses aktivasi karbon aktif sampah plastik PET</p>
9		<p>Pencucian karbon aktif yang telah diaktivasi</p>

10		Proses pengovenan Karbon Aktif
11		Penimbangan karbon aktif
12		Pengadukan limbah lindi dengan penambahan karbon aktif (metode batch)

13	 A laboratory setup for filtration. A large beaker on the left contains a dark liquid. To its right, three Erlenmeyer flasks are arranged in a row, each containing a different colored liquid (dark brown, light brown, and reddish-brown). Behind them, several glass funnels are placed on top of other flasks, some containing white filter paper. The background shows various laboratory supplies like bottles and a power outlet.	Proses filtrasi
14	 A female technician wearing a white lab coat, a pink hijab, and a black face mask is working in a laboratory. She is using a red rubber bulb to draw liquid into a glass tube. The lab bench is cluttered with various glassware, including a rack of test tubes and several bottles.	Proses pengujian COD
15	 A female technician wearing a white lab coat, a brown hijab, and a black face mask is operating a blue laboratory instrument. She is adjusting a dial on the front of the machine. The instrument has a small digital display and a keypad. Several small glass vials are visible on the lab bench in front of her.	Analisa hasil pengujian COD

LAMPIRAN C

Hasil Pengujian Fe



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
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

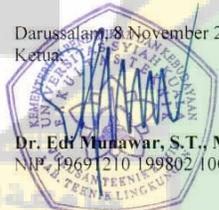
LEMBAR HASIL UJI

Nomor: 239/JTK-USK/LTPKL/2021

Nama Pelanggan : Atika Ruhayyah
Alamat Pelanggan : Kp. Mulia-Banda Aceh
Tanggal di Terima : 8 November 2021
Jenis Contoh Uji : Limbah Lindi
Parameter Uji : Besi (Fe)
Tanggal di Analisa : 8 November 2021
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.	Kontrol	mg/l	-	3,005	
2.	Limbah 1	mg/l	-	0,643	
3.	Limbah 2	mg/l	-	0,414	
4.	Limbah 3	mg/l	-	0,338	
5.	Limbah 4	mg/l	-	0,130	
6.	Limbah 5	mg/l	-	0,106	

Darussalam, 8 November 2021
Ketua


Dr. Edi Munawar, S.T., M.Eng.
NIP. 196912101998021001

LAMPIRAN D

Perhitungan

1. Rendemen Karbon Aktif

$$\begin{aligned} \text{Rendemen} &= \frac{b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{152,241}{500} \times 100\% \\ &= 30,4\% \end{aligned}$$

2. Perhitungan Analisa Karakteristik Karbon Aktif

a. Kadar air

$$\begin{aligned} \text{kadar air (\%)} &= \frac{b - c}{b - a} \times 100\% \\ &= \frac{62,614 - 62,502}{62,614 - 57,614} \times 100\% \\ &= 2,2\% \end{aligned}$$

b. Kadar zat menguap

$$\begin{aligned} \text{kadar zat menguap (\%)} &= \frac{(b - a) - (c - a)}{b - a} \times 100\% \\ &= \frac{(77,614 - 57,614) - (65,166 - 57,614)}{(77,614 - 57,614)} \times 100\% \\ &= 62,2\% \end{aligned}$$

c. Kadar abu

$$\begin{aligned} \text{kadar abu (\%)} &= \frac{c - a}{b - a} \times 100\% \\ &= \frac{49,218 - 49,192}{50,192 - 49,192} \times 100\% \\ &= 2,6\% \end{aligned}$$

d. Kadar karbon terikat

$$\begin{aligned} \text{Karbon terikat (\%)} &= 100\% - [\text{kadar air (\%)} + \text{abu (\%)} + \text{zat menguap (\%)}] \\ &= 100\% - [2,2\% + 2,6\% + 62,2\%] \end{aligned}$$

$$= 100\% - 67\%$$

$$= 33\%$$

3. Perhitungan Efisiensi Kadar Fe Pada Limbah Lindi

- a. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 3 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{3,005 - 0,643}{3,005} \times 100\%$$

$$= 78,6\%$$

- b. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 6 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{3,005 - 0,414}{3,005} \times 100\%$$

$$= 86,2\%$$

- c. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 9 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{3,005 - 0,338}{3,005} \times 100\%$$

$$= 88,7\%$$

- d. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 12 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{3,005 - 0,130}{3,005} \times 100\%$$

$$= 95,6\%$$

- e. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 15 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{3,005-0,106}{3,005} \times 100\%$$

$$= 96,4\%$$

4. Perhitungan Efisiensi Kadar COD Pada Limbah Lindi

a. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 3 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{5386-4446}{5386} \times 100\%$$

$$= 17,4\%$$

b. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 6 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{5386-3985}{5386} \times 100\%$$

$$= 26\%$$

c. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 9 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{5386-3771}{5386} \times 100\%$$

$$= 29,9\%$$

d. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 12 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$= \frac{5386-3760}{5386} \times 100\%$$

$$= 30,1\%$$

e. Dosis Karbon aktif Sampah Plastik PET 15 gram

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

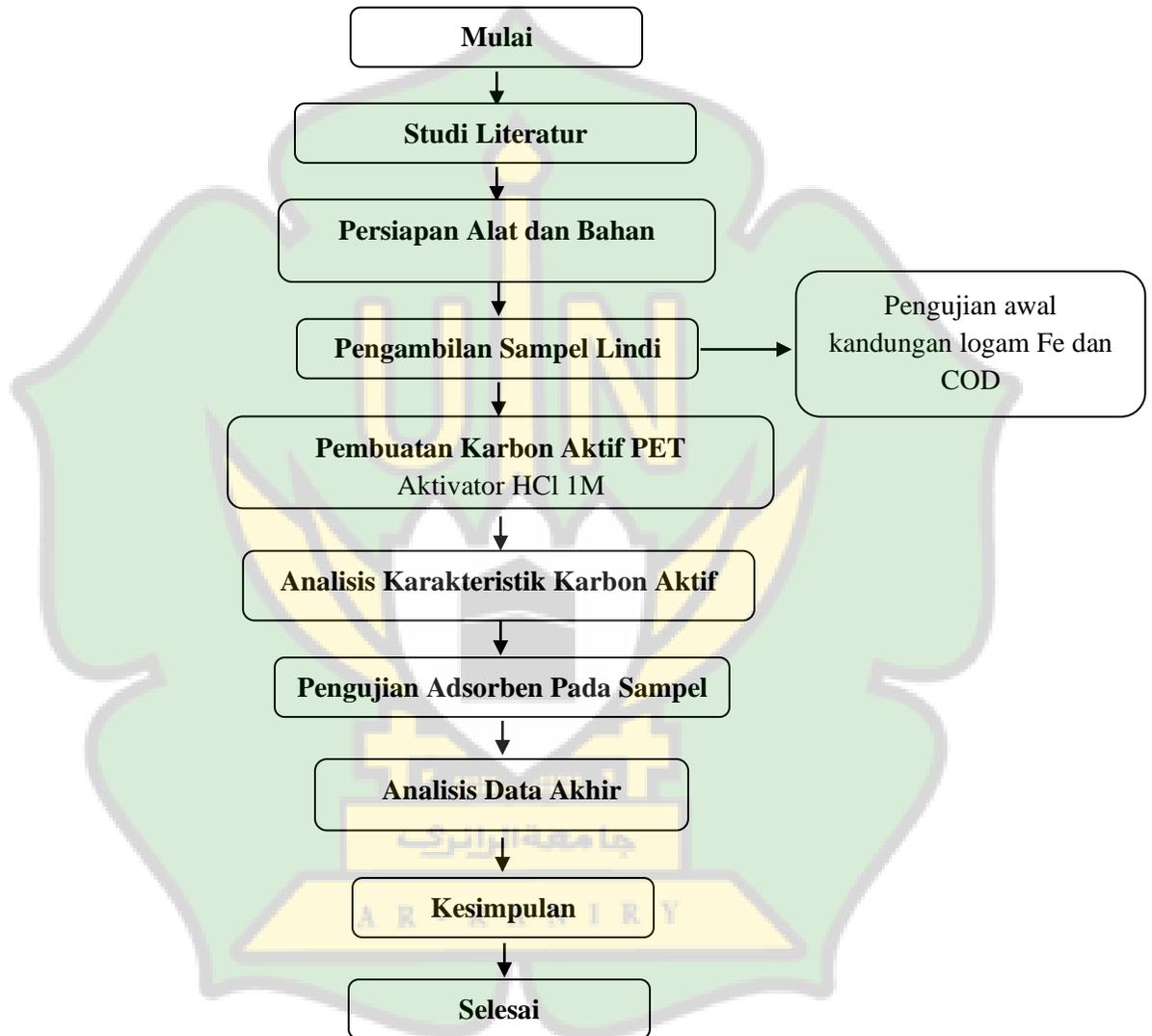
$$= \frac{5386-3404}{5386} \times 100\%$$

$$= 36,7\%$$



LAMPIRAN E

Diagram Alir Penelitian



LAMPIRAN F



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA

NOMOR 32 TAHUN 2017

TENTANG

STANDAR BAKU MUTU KESEHATAN LINGKUNGAN DAN PERSYARATAN
KESEHATAN AIR UNTUK KEPERLUAN HIGIENE SANITASI, KOLAM RENANG,
SOLUS PER AQUA, DAN PEMANDIAN UMUM

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA,

Menimbang : bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 26 ayat (1) Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, perlu menetapkan Peraturan Menteri Kesehatan tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua*, dan Pemandian Umum;

Mengingat : 1. Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 184, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5570);
2. Peraturan Presiden Nomor 35 Tahun 2015 tentang Kementerian Kesehatan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 59);

Tabel 2. Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Total coliform	CFU/100ml	50
2.	E. coli	CFU/100ml	0

Tabel 3 berisi daftar parameter kimia yang harus diperiksa untuk keperluan higiene sanitasi yang meliputi 10 parameter wajib dan 10 parameter tambahan. Parameter tambahan ditetapkan oleh pemerintah daerah kabupaten/kota dan otoritas pelabuhan/bandar udara.

Tabel 3. Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No.	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Wajib			
1.	pH	mg/l	6,5 - 8,5
2.	Besi	mg/l	1
3.	Fluorida	mg/l	1,5
4.	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/l	500
5.	Mangan	mg/l	0,5
6.	Nitrat, sebagai N	mg/l	10
7.	Nitrit, sebagai N	mg/l	1
8.	Sianida	mg/l	0,1
9.	Deterjen	mg/l	0,05
10.	Pestisida total	mg/l	0,1
Tambahan			
1.	Air raksa	mg/l	0,001
2.	Arsen	mg/l	0,05
3.	Kadmium	mg/l	0,005
4.	Kromium (valensi 6)	mg/l	0,05
5.	Selenium	mg/l	0,01
6.	Seng	mg/l	15
7.	Sulfat	mg/l	400
8.	Timbal	mg/l	0,05

LAMPIRAN G



MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
REPUBLIK INDONESIA

NOMOR P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

TENTANG

BAKU MUTU LINDI BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN,

- Menimbang :
- a. bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 20 ayat (2) huruf b Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Menteri mengatur ketentuan mengenai baku mutu air limbah;
 - b. bahwa Tempat Pemrosesan Akhir Sampah menghasilkan lindi yang berpotensi mencemari lingkungan, sehingga perlu dilakukan pengolahan air lindi sebelum dibuang ke media lingkungan;
 - c. bahwa berdasarkan ketentuan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah;

LAMPIRAN I
 PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
 REPUBLIK INDONESIA
 NOMOR P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016
 TENTANG
 BAKU MUTU LINDI BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN TEMPAT
 PEMROSESAN AKHIR SAMPAH

BAKU MUTU LINDI

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

Salinan sesuai dengan aslinya
 KEPALA BIRO HUKUM,

ttd.

KRISNA RYA

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN
 KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

SITI NURBAYA