

**PEMANFAATAN *FLY ASH* BATU BARA SEBAGAI ADSORBEN
UNTUK MENGOLAH LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)**

TUGAS AKHIR

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik
Universitas Serambi Mekkah**

Disusun Oleh :

**JASMAN BAKO
2114020004**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH
BANDA ACEH
2025**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Tgk. Imum Lueng Bata, Batoh, Banda Aceh, Kode Pos 23245
Email : ft@serambimekkah.ac.id / Website : www.ft.serambimekkah.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN FLY ASH BATU BARA SEBAGAI ADSORBEN UNTUK
MENGOLAH LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)

NAMA : JASMAN BAKO
NPM : 2114020004
PROGRAM STUDI : TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS : TEKNIK

Menyetujui :

Ace Fiday 12/6/2016

Pembimbing I

Pembimbing II


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


Ir. Vera Viena, ST., MT
NIDN. 0123067802

Mengetahui

Ketua Program Studi
Teknik Lingkungan


Ir. Vera Viena S.T, M.T
NIDN. 0123067802



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Tgk. Imum Lueng Bata, Batoh, Banda Aceh, Kode Pos 23245
Website : www.serambimekkah.ac.id, Surel : akademik@serambimekkah.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN *FLY ASH* BATU BARA SEBAGAI ADSORBEN UNTUK
MENGOLAH LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)

NAMA : JASMAN BAKO
NPM : 2114020004
FAKULTAS : TEKNIK
PROGRAM STUDI : TEKNIK LINGKUNGAN

Telah Disidangkan Pada Tanggal 10 Juli 2025

Dan Dinyatakan Telah Lulus

Menyetujui :

Pembimbing I : Dr. Ir. Elvitriana, M. Eng (.....)

Pembimbing II : Ir. Vera Viena, ST., MT (.....)

Penguji I : Ir. Bahagia, ST., MT., IPM (.....)

Penguji II : Irda Yunita, ST., M. Sc (.....)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Serambi Mekkah



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

Ketua Program Studi
Teknik Lingkungan



Ir. Vera Viena, ST., MT
NIDN. 0123067802

ABSTRAK

Timbal masuk ke dalam jenis logam berat non esensial, logam berat ini tidak dapat terurai secara alami dan tidak akan mengalami deformasi. Adsorben *fly ash* memiliki kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 , dapat dijadikan sebagai adsorben untuk menyerap logam berat timbal Pb. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorben *fly ash* batu bara dalam menurunkan konsentrasi logam Pb. Adsorben *fly ash* batu bara didapatkan melalui hasil pembakaran batu bara di boiler dan diaktivasi secara kimia menggunakan $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 1 N. Konsentrasi logam Pb diukur menggunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Kemampuan adsorpsi dianalisis dengan variasi dosis adsorben *fly ash* batu bara 2, 4, 6 dan 8 gram dan waktu pengadukan 30, 60 dan 90. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas penyerapan adsorben *fly ash* batu bara paling tinggi pada dosis 8 gram dengan waktu pengadukan 90 menit sebesar 99,684%. Kapasitas penyerapan paling tinggi yaitu pada dosis 2 gram dengan waktu pengadukan 90 menit sebesar 0,945 mg/g. *Fly ash* batu bara berpotensi sebagai adsorben alternatif yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah yang mengandung logam Pb.

Kata Kunci : *Fly Ash* Batu Bara, Adsorpsi, Waktu Pengadukan, Timbal (Pb)

ABSTRACT

Lead is included in the type of non-essential heavy metals, this heavy metal cannot be decomposed naturally and will not undergo deformation. Fly ash adsorbent contains SiO₂ and Al₂O₃, it can be used as an adsorbent to absorb heavy metal lead Pb. This study aims to determine the ability of coal fly ash adsorbent in reducing the concentration of Pb metal. Coal fly ash adsorbent is obtained through the combustion of coal in the boiler and is chemically activated using CH₃COONa.3H₂O 1 N. The concentration of Pb metal is measured using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The adsorption capacity is analyzed by varying the dose of coal fly ash adsorbent 2, 4, 6 and 8 grams and stirring time 30, 60 and 90. The results showed that the effectiveness of coal fly ash adsorbent absorption was highest at a dose of 8 grams with a stirring time of 90 minutes at 99.684%. The highest absorption capacity is at a dose of 2 grams with a stirring time of 90 minutes of 0.945 mg/g. Coal fly ash has the potential as an alternative adsorbent that can be used to treat wastewater containing Pb metal.

Keywords: Coal Fly Ash, Adsorption, Stirring Time, Lead (Pb)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji Penulis sampaikan kehadiran Allah SWT karena kudrah dan ridha-Nyalah Penulis telah dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Shalawat beriring salam Penulis sanjung sajikan kepangkuan Nabi Besar Muhammad SAW yang telah mengubah peradaban manusia dari masa jahiliah ke era islamiah dan dari masa kebodohan ke masa yang penuh dengan ilmu pengetahuan. Tugas Akhir dengan judul: **“Pemanfaatan *Fly Ash* Batu Bara Sebagai Adsorben Untuk Mengolah Logam Berat Timbal (Pb)”**. disusun untuk melengkapi tugas dan memenuhi persyaratan guna menyelesaikan studi pada program studi Teknik Lingkungan.

Dalam proses penyelesaian penulisan tugas akhir ini Penulis tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Kepada kedua orang tua yang telah banyak memberikan pengorbanan dan do'a serta bantuan kepada Penulis hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Elvitriana, M. Eng selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah sekaligus Pembimbing I yang telah penuh kesabaran meluangkan waktunya memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi yang sangat berharga, baik selama Penulis mengikuti perkuliahan maupun menyusun tugas akhir.
3. Ibu Ir. Vera Viena, ST., MT Selaku Ketua Prodi Teknik Lingkungan Universitas Serambi Mekkah sekaligus Pembimbing II yang telah penuh kesabaran meluangkan waktunya memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi yang sangat berharga, baik selama Penulis mengikuti perkuliahan maupun menyusun tugas akhir.
4. Bapak Ir. Bahagia ST., MT., IPM selaku dosen penguji 1 dan ibu Irda Yunita ST, M, Sc selaku dosen penguji 2

5. Staf dan dosen di Prodi Teknik Lingkungan yang selama ini telah memberi arahan dan masukan kepada Penulis.
6. Sahabat seperjuangan yang telah memberikan bantuan dan dorongan serta atas kerjasama.
7. Serta semua pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak selalu Penulis harapkan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pribadi dan pembaca pada umumnya.

Banda Aceh, 20 Juni 2025

Jasman Bako

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN SIDANG	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	ixi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Fly Ash</i> Batu Bara.....	5
2.1.1 Kandungan <i>Fly Ash</i> Batu Bara.....	5
2.1.2 Pemanfaatan <i>Fly Ash</i> Batu Bara.....	6
2.1.3 Dampak Penggunaan Batu Bara Bagi Lingkungan dan Kesehatan	6
2.2 Adsorpsi.....	8
2.2.1 Jenis-Jenis Adsorpsi	10
2.2.2 Aktivasi <i>Fly Ash</i> Batu Bara.....	11
2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi.....	11
2.3 Kapasitas dan Efektivitas Adsorpsi.....	13
2.4 Logam Berat Timbal (Pb).....	14
2.5 Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb).....	16

2.6 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	17
2.7 pH	19
2.8 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Tahapan Umum Penelitian	22
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
3.3 Jadwal Penelitian	23
3.4 Bahan dan Alat	25
3.4.1 Bahan	25
3.4.2 Alat.....	25
3.5 Metode Penelitian.....	25
3.6 Prosedur Penelitian.....	26
3.6.1 Aktivasi Adsorben.....	26
3.6.2 Pengujian Adsorben	26
3.6.3 Pembuatan Larutan Timbal (Pb)	27
3.6.4 Proses Adsorpsi.....	28
3.7 Analisis Pb dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).....	28
3.8 Analisis Data	28
3.8.1 Analisis pH Sebelum dan Sesudah Proses Adsorpsi.....	28
3.8.2 Penentuan Efisiensi	29
3.8.3 Penentuan Kapasitas Adsorpsi	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Karakteristik Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara	30
4.2 Hasil Penyisihan Logam Pb Menggunakan Arang Aktif <i>Fly Ash</i> Pada Variasi Dosis dan Waktu Pengadukan	32
4.3 Pengaruh Dosis dan Waktu Pengadukan Terhadap pH.....	35
4.4 Hasil Analisa Efisiensi Adsorpsi Penurunan Logam Pb Arang Aktif <i>Fly Ash</i> .	47
4.5 Hasil Analisa Kapasitas Adsorpsi Penurunan Logam Pb Arang Aktif <i>Fly Ash</i> 40	
BAB V PENUTUP.....	45

5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian <i>Fly Ash</i> Sebagai Adsorben	20
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	24
Tabel 3.2 Variabel Tetap dan Terikat.....	25
Tabel 4.1 Karakteristik <i>Fly Ash</i> sebelum dan sesudah menjadi adsorben.....	30
Tabel 4.2 Data Penyisihan Kandungan Logam Pb dan pH Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i>	33
Tabel 4.3 Hasil Uji Parameter pH Menggunakan Adsorben <i>Fly Ash</i> Batu Bara	35
Tabel 4.4 Hasil Analisa Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif <i>Fly Ash</i>	37
Tabel 4.5 Hasil Analisa Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif <i>Fly Ash</i>	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Spektrofotometri Serapan Atom	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Umum Penelitian	22
Gambar 4.1 <i>Fly Ash</i> Sebelum Perlakuan	32
Gambar 4.2 Adsorben dari <i>Fly Ash</i>	32
Gambar 4.3 Hasil Penurunan Pb.....	34
Gambar 4.4 Pengaruh Dosis Terhadap Efisiensi Adsorpsi	38
Gambar 4.5 Pengaruh Dosis Terhadap Kapasitas Adsorpsi	39
Gambar 4.6 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Efisiensi Adsorpsi	41
Gambar 4.7 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kapasitas Adsorpsi.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Hasil Data Pengamatan dan Olahan.....	52
Lampiran B Hasil Pengujian Kandungan Timbal (Pb)	56
Lampiran C Surat Administrasi	68
Lampiran D Dokumentasi Penelitian	73
Lampiran E Biodata Penulis	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batu bara adalah bahan bakar pokok untuk industri seperti produksi baja dan semen juga untuk pembangkit listrik. Namun efek negatif dari penggunaan batu bara adalah timbulan polusi akibat pembakaran. Semakin banyak industri di dunia yang mulai mengalihkan fokus energi mereka ke batu bara (Adhani., 2017).

Provinsi Aceh juga mempunyai industri pembangkit listrik yang terletak di Gampong Suak Puntong Kecamatan Kuala Pesisir Kabupaten Nagan Raya. Lokasi PLTU ini berada dalam kawasan pemukiman penduduk dan berjarak sekitar 200 meter dari bibir pantai di Suak Puntong. PLTU ini mulai beroperasi sejak tahun 2013 berkapasitas pembangkit tenaga listrik 2 x 110 MW dan menggunakan bahan bakar utama berupa batu bara kalori rendah (*low rank coal*). Proses pembakaran batu bara menghasilkan 150 – 200 ton limbah *fly ash* dan *bottom ash* per hari, yang belum seluruhnya dimanfaatkan. Limbah *fly ash bottom ash* disimpan dan ditumpuk di unit *ash disposal* (Susanti, dkk., 2020).

Fly ash atau abu terbang merupakan material yang berasal dari pembakaran batu bara yang memiliki warna keabu-abuan dan ukuran butiran halus. *Fly ash* ini memiliki kandungan unsur kimia antara lain silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga terdapat unsur tambahan seperti magnesium oksida (MgO), titanium (TiO), alkalin (Na_2O), dan lain-lain (Fatimah dkk., 2021). Pembakaran batu bara menghasilkan sekitar 75%-80% *fly ash*. Oleh karena itu limbah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara butuh tempat penyimpanan. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang dominan menyebabkan *fly ash* memiliki kemampuan adsorpsi yang digunakan untuk menyisihkan pencemar dalam limbah cair (Ambia., 2021).

Namun, untuk saat ini berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah *fly ash bottom ash* tidak lagi menjadi kategori limbah B3 karena perusahaan

sudah melakukan pengelolaan menjadi limbah B3 tidak berbahaya. Namun demikian PLTU tetap perlu mengubah kebijakan untuk menekan biaya yang ditimbulkan.

Beberapa penelitian membuktikan bahwa *fly ash bottom ash* dapat dimanfaatkan untuk menetralkan air asam tambang pada konsentrasi tertentu. Penelitian oleh Telaumbanua (2017), penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* kelapa sawit untuk menyerap warna pada air limbah buatan. Hasil riset menunjukkan penurunan zat warna dan COD tertinggi dengan adsorben *fly ash* dengan nilai warna 96,96% dan konsentrasi COD 83,26%, sedangkan penurunan warna menggunakan *bottom ash* dan *fly ash* sebesar 53,93 % dan COD 62,82%, serta adsorben menggunakan *bottom ash* dengan penurunan warna sebesar 53,03% dan COD 71,08%. Penelitian oleh Ambia (2021), penggunaan massa optimum 100 gr/L memiliki efektivitas Mn sebesar 98,09%, Zn 97,41%, Fe 97,20%, BOD 78,39% dan COD 14,80%. Penelitian ini berfokus untuk memanfaatkan limbah *fly ash* batu bara sebagai adsorben untuk menyerap logam timbal (Pb) pada larutan.

Ada beberapa cara untuk mengurangi konsentrasi Pb dalam air limbah, seperti pengendapan, pertukaran ion menggunakan resin, filtrasi dan adsorpsi. Adsorpsi adalah proses fluida melewati padatan sehingga padatan dapat menangkap zat yang tidak diinginkan. Proses adsorpsi mudah dilakukan karena lebih sederhana dan murah dibandingkan dengan metode lain. Dalam adsorpsi, adsorbat adalah zat yang akan di adsorpsi, dan adsorben adalah zat yang berperan dalam adsorpsi. Sifat-sifat permukaan suatu adsorben mempengaruhi jumlah suatu fluida yang dapat diadsorpsi ke dalam adsorben. Hal ini menyebabkan adanya modifikasi adsorben sehingga lebih efektif dalam menghilangkan Pb, permukaan adsorben dimodifikasi dengan aktivasi (Myllymäki dkk., 2018).

Timbal masuk ke dalam jenis logam berat non esensial, logam berat ini tidak dapat terurai secara alami dan tidak akan mengalami deformasi (Budiastuti dkk., 2016). Salah satu efek Pb yang tidak dapat terurai adalah bioakumulasi logam pada organisme hidup (Mahardhika dkk., 2016). Logam berat timbal sangat bersifat toksik dan dapat menyebabkan efek keracunan timbal akut dan kronis seperti terjadi

permasalahan pada saluran pencernaan. Logam berat Timbal (Pb) bersifat karsinogen lemah yang dapat menyebabkan kanker paru-paru, kanker lambung dan kanker glioma (Adhani *et al.*, 2017).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka Peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “**Pemanfaatan *Fly Ash* Batu Bara Sebagai Adsorben Untuk Mengolah Logam Berat Timbal (Pb)**” dengan tujuan untuk memanfaatkan *fly ash* sebagai bahan penyerap logam berat untuk mengurangi pencemaran lingkungan, sekaligus memanfaatkan kembali limbah padat yang bertumpuk di area pabrik.

1.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. *Fly ash* yang digunakan adalah dari hasil batu bara yang dibakar di dalam boiler PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya.
2. Larutan Pb yang digunakan adalah larutan Pb buatan dengan konsentrasi 3,8 mg/l. (SNI. 6989.8:2009).

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh dosis adsorben dan waktu pengadukan terhadap penurunan konsentrasi logam Pb dalam larutan?
2. Bagaimana menghitung efisiensi dan kapasitas adsorpsi *fly ash* dalam penyisihan logam Pb?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menentukan pengaruh dosis adsorben dan waktu pengadukan terhadap penurunan konsentrasi logam Pb dalam larutan.

2. Untuk menghitung efisiensi dan kapasitas adsorpsi *fly ash* dalam penyisihan logam Pb.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi lingkungan yaitu memberikan alternatif solusi pengolahan *fly ash* yang ramah lingkungan dan mengurangi pencemaran.
2. Bagi industri yaitu mengurangi dampak negatif dari *fly ash* batu bara dan memberikan nilai tambah dengan memanfaatkannya sebagai adsorben.
3. Bagi ilmu pengetahuan yaitu menambah pengetahuan tentang potensi penggunaan *fly ash* dalam menurunkan konsentrasi logam berat Pb.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Fly Ash* Batu Bara

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

Penggunaan batu bara industri semakin meningkat volumenya karena biayanya yang relatif rendah dibandingkan dengan harga bahan bakar industri. Penggunaan batu bara sebagai sumber energi alternatif yang dapat dipulihkan tetapi sebaliknya dapat menimbulkan banyak masalah. Masalah utama dengan penggunaan batu bara adalah *fly ash*, produk sampingan dari pembakaran batu bara. Beberapa contoh penggunaan batu bara menghasilkan sekitar 2-10% *fly ash* batu bara. *Fly ash* batu bara merupakan sisa pembakaran batu bara yang berupa partikel amorf. *Fly ash* adalah jenis mineral yang terbentuk dari perubahan mineral oleh pembakaran. Dalam proses pembakaran batu bara di pembangkit uap (boiler), dihasilkan dua jenis abu yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Komposisi abu batu bara mengandung 10-20% sisa abu dan 80-90% abu terbang. *Fly ash* ditangkap menggunakan electrostatic precipitator kemudian dilepaskan ke atmosfer dari cerobong asap (Setiawati, 2018).

2.1.1 Kandungan *Fly Ash* Batu Bara

Pengujian pada batu bara yang berasal dari Indonesia mempunyai kandungan utama silika dan alumina serta disertai dengan kuarsa, mullite, plagioklas, cristobalite, dan komponen oksida. Karakteristik abu batu bara terutama dapat dilihat pada kandungan unsur-unsur utama dan unsur-unsur jejak. Komposisi mineral yang

ditentukan dengan XRD menunjukkan bahwa abu batu bara mengandung kuarsa, mullet, plagioklas dan kristobalit (Darmayanti dkk 2018).

2.1.2 Pemanfaatan *Fly Ash* Batu Bara

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

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

2.1.3 Dampak Penggunaan Batu Bara Bagi Lingkungan Dan Kesehatan

Pemanfaatan batu bara sebagai sumber energi telah menjadi sejarah panjang dalam industri modern. Namun, seperti halnya dengan banyak sumber energi tak

terbarukan lainnya, penggunaan batu bara juga memiliki dampak negatif yang signifikan, terutama terkait dengan lingkungan dan kesehatan manusia.

1. Pencemaran Udara

salah satu dampak paling mencolok dari penggunaan batu bara adalah pencemaran udara. Proses pembakaran batu bara untuk menghasilkan energi menghasilkan emisi berbagai zat berbahaya, termasuk sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), partikulat, dan gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂). Emisi ini menyebabkan peningkatan polusi udara yang dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia dan lingkungan secara keseluruhan.

2. Efek Rumah Kaca dan Perubahan Iklim

Penggunaan batu bara juga berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim. Gas rumah kaca yang dihasilkan selama pembakaran batu bara, terutama CO₂, meningkatkan efek rumah kaca, menyebabkan peningkatan suhu global, perubahan pola cuaca, dan ancaman serius terhadap ekosistem bumi.

3. Pencemaran Air

Selain menciptakan polusi udara, industri batu bara juga dapat mencemari sumber air. Limbah dari pertambangan batu bara sering kali mengandung logam berat dan bahan kimia berbahaya yang dapat mencemari sungai, danau, dan sumber air tanah. Ini tidak hanya mengancam kehidupan akuatik, tetapi juga dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia yang mengandalkan sumber air tersebut.

4. Kerusakan Lingkungan dan Kehilangan Habitat

Pertambangan batu bara sering kali menyebabkan kerusakan lingkungan yang signifikan. Proses ekstraksi batu bara dapat mengakibatkan deforestasi, penghancuran habitat satwa liar, erosi tanah, dan degradasi lahan yang berdampak pada keanekaragaman hayati. Kehilangan habitat ini dapat mengancam kelangsungan hidup spesies-spesies tertentu dan mengganggu ekosistem yang sensitif.

5. Dampak Kesehatan Manusia

Paparan polutan yang dihasilkan dari pembakaran batu bara juga memiliki dampak serius pada kesehatan manusia. Partikel-partikel kecil yang terhirup dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penyakit jantung, dan bahkan kematian prematur. Peningkatan polusi udara juga dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan kronis seperti asma dan bronkitis.

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa menempelnya atom atau molekul zat pada permukaan zat lain karena adanya ketidakseimbangan gaya tarik menarik ataupun dengan interaksi kimia. Secara sederhana, adsorpsi merupakan proses pelekatan molekul pada permukaan adsorben. Suatu molekul atau partikel yang melekat pada adsorben disebut dengan adsorbat. Adsorpsi bisa digunakan dalam proses penyerapan unsur logam, penghilangan zat warna, partikel koloid, bakteri, virus, dan pigmen (Agusti, 2019).

Sedangkan menurut Arya (2017), adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika fluida (cairan maupun gas) berikatan dengan suatu padatan sehingga terbentuk lapisan tipis (film) pada permukaan padatan tersebut. Proses adsorpsi digambarkan sebagai proses pelepasan ikatan molekul larutan yang kemudian melekat pada permukaan adsorben sebagai zat penyerap akibat adanya ikatan fisika dan kimia. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam menurunkan konsentrasi ion logam dalam air limbah adalah penukar ion (*ion exchange*), pengendapan, filtrasi dan adsorpsi. Dari keempat metode tersebut, adsorpsi menjadi metode yang paling banyak dipilih karena preparasinya yang sederhana serta bahan-bahannya mudah dicari dan ekonomis.

Pengadukan dapat mempercepat proses adsorpsi karena dapat memperbaiki kontak antara adsorben dan adsorbat. Dalam kondisi pengadukan, adsorben dan adsorbat akan terus-menerus tercampur dan membuat luas permukaan kontak antara keduanya semakin banyak. Selain itu, pengadukan juga dapat mempercepat difusi

massa adsorbat ke permukaan adsorben. Namun, perlu diperhatikan bahwa pengadukan yang terlalu kuat dapat mengurangi efektivitas adsorpsi karena dapat menyebabkan desorpsi (pelepasan kembali) adsorbat dari permukaan adsorben. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengadukan yang cukup agar mencapai kesetimbangan adsorpsi secara efektif (Obike dkk., 2018).

Luas permukaan adsorben akan semakin besar jika ukuran pori-pori yang dimilikinya semakin besar pula. Hal ini karena ukuran pori-pori yang besar dapat menampung lebih banyak molekul adsorbat dan memberikan lebih banyak ruang untuk reaksi adsorpsi terjadi. Selain itu, ukuran pori-pori yang besar juga memungkinkan adanya akses yang lebih mudah bagi molekul adsorbat untuk berinteraksi dengan permukaan adsorben, sehingga mempercepat proses adsorpsi. Namun, terlalu besar ukuran pori-pori juga dapat menyebabkan kehilangan kekuatan struktur adsorben dan menurunkan efisiensi adsorpsi.

Ada dua jenis adsorben yaitu adsorben alami dan buatan. Adsorben alami biasanya berasal dari bahan-bahan organik atau anorganik yang terdapat di alam, seperti karbon aktif dari tempurung kelapa atau zeolit dari mineral alam. Sedangkan adsorben buatan biasanya dibuat secara sintesis melalui proses kimia, seperti resin sintesis atau polimer berpori. Kedua jenis adsorben ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing tergantung pada aplikasi dan kondisi penggunaannya. Ukuran molekul adsorbat akan mempengaruhi kemampuan untuk melewati pori-pori adsorben. Jika molekul adsorbat terlalu besar untuk masuk ke dalam pori-pori, maka kemampuan adsorpsi akan berkurang. Oleh karena itu, ukuran pori-pori adsorben harus dipilih secara tepat untuk mengoptimalkan proses adsorpsi (Liu dkk., 2019).

Suhu dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Pada umumnya, peningkatan suhu akan meningkatkan laju adsorpsi karena meningkatkan kecepatan gerakan molekul dan difusi adsorbat ke permukaan adsorben. Namun, terlalu tinggi suhu juga dapat mengurangi kapasitas adsorpsi karena dapat menyebabkan kerusakan pada struktur adsorben. Oleh karena itu, perlu dilakukan penentuan suhu yang tepat untuk mendapatkan kondisi optimal dalam proses adsorpsi. Ketika konsentrasi adsorben

dalam larutan meningkat, laju penyerapan adsorbat cenderung meningkat karena semakin banyaknya jumlah adsorpsi yang tersedia pada permukaan adsorben yang tersedia. Namun, terdapat batas jenuh di mana kapasitas adsorpsi permukaan akan mencapai titik jenuh dan laju penyerapan adsorbat akan cenderung menurun seiring dengan semakin berkurangnya jumlah adsorpsi yang tersedia pada permukaan adsorben (Ismiyati, 2020).

Adanya gaya tarik-menarik molekul pada permukaan adsorben yang tidak seimbang mengakibatkan zat padat yang berfungsi sebagai adsorben tersebut cenderung menarik molekul lain saat terjadi kontak dengan permukaan adsorben. Hal tersebut menandakan bahwa proses adsorpsi sedang berlangsung.

2.2.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Adapun jenis-jenis adsorpsi dapat dilihat di bawah ini yaitu :

a. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya ikatan *Van Der Waals*, dimana ketika terjadi gaya tarik-menarik molekul antara larutan dengan permukaan media adsorben lebih besar dari gaya tarik zat/substansi terlarut dengan larutan, sehingga zat/substansi terlarut akan teradsorpsi oleh permukaan media adsorben. Dalam adsorpsi fisika, kekuatan tarikan gaya *Van Der Waals* relatif kecil dan membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben. Hasil dari adsorpsi fisika yaitu Ikatan antar molekul sangat lemah serta energi entalpi yang dilepaskan juga relatif rendah yaitu berkisar antara 4 kJ/mol - 20 kJ/mol (Maghfirana, 2019). Adsorpsi fisika terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah titik didih adsorbat. Hal inilah yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisika bersifat reversibel (reaksi kimia berlangsung dalam dua arah atau bolak balik) sehingga proses yang berlangsung sangat cepat.

b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia terjadi ketika zat/senyawa terlarut dalam larutan dengan molekul pada media adsorben membentuk ikatan kimia kovalen. Ikatan yang

terbentuk merupakan ikatan kuat sehingga lapisan pada permukaan adsorben adalah monolayer. Proses adsorpsi kimia berawal dari adsorpsi fisik, dimana partikel adsorbat tertarik ke permukaan adsorben karena adanya gaya *Van Der Waals* atau ikatan hidrogen. Kemudian partikel yang melekat pada permukaan adsorben, membentuk ikatan kimia dan cenderung mencari lokasi yang dapat memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat (Hanastasia, 2019).

Adsorpsi kimia bersifat *Irreversible* (reaksi yang tidak dapat kembali ke bentuk semula) dan umumnya terjadi pada temperatur tinggi sehingga Energi entalpi yang dilepaskan juga relatif tinggi yaitu berkisar antara 40 kJ/mol - 800 kJ/mol (Darmansyah, 2015).

2.2.2 Aktivasi *Fly Ash* Batu Bara

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

2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Menurut Hanastasia (2019), daya adsorpsi suatu zat yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Jenis Adsorbat

a. Ukuran molekul zat

Ukuran molekul yang sesuai menjadi syarat penting dalam proses adsorpsi. Proses adsorpsi dapat berlangsung jika molekul-molekul yang diadsorpsi memiliki diameter yang lebih kecil dibandingkan dengan diameter pori-pori

pada permukaan adsorben.

b. Kepolaran zat

Proses adsorpsi suatu zat memiliki daya yang lebih kuat pada molekul polar dibandingkan dengan adsorpsi molekul kurang polar. Hal tersebut dikarenakan molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul yang kurang polar yang telah terlebih dahulu teradsorpsi. Pada kondisi ukuran diameter yang sama, maka molekul polar dapat terlebih dahulu teradsorpsi.

2. Karakteristik Adsorben

a. Kemurnian adsorben

Kemurnian adsorben menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi daya serap adsorben. Adsorben murni memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan yang tidak murni.

b. Luas permukaan dan pori adsorben

Faktor utama yang paling mempengaruhi proses adsorpsi adalah luas permukaan. Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi dapat meningkat seiring dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Sehingga dalam proses pembuatan adsorben, seringkali diberikan perlakuan awal seperti penambahan aktivator untuk dapat meningkatkan luas permukaan dan volume pori adsorben.

3. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman pada suatu larutan berpengaruh pada kehadiran unsur logam pada larutan. Dalam kondisi normal unsur logam dapat mengendap pada suasana basa atau yang memiliki pH diatas 10. Sebab, pada kondisi basa komponen logam membentuk kompleks netral atau dalam bentuk hidroksida anionik sehingga pertukaran kation tidak akan terjadi. Agar pertukaran ion positif menjadi efektif, saat proses pengolahan berlangsung, pH perlu diturunkan pada keadaan normal ($\text{pH} = 7$) atau dalam kondisi asam (Maghfirana, 2019).

4. Temperatur

Pada saat proses adsorpsi berlangsung, temperatur perlu diperhatikan. Temperatur dan proses adsorpsi berkaitan erat dengan kondisi proses dan operasi di reaktor yang didalamnya terjadi reaksi endotermik dan eksotermik. Proses adsorpsi yang terjadi secara endotermik memiliki ciri-ciri adanya peningkatan penyerapan unsur logam yang beriringan dengan meningkatnya temperatur. Proses adsorpsi endotermik digunakan sebagai indikator adsorpsi secara kimia. Sedangkan proses adsorpsi yang terjadi secara eksotermik memiliki ciri-ciri, menurunnya penyerapan unsur logam seiring dengan meningkatnya temperatur. Adsorpsi bersifat eksotermik menjadi indikator adsorpsi secara fisik.

5. Waktu kontak

Waktu kontak arang dan adsorbat dapat mengubah suatu proses adsorpsi. Semakin lama waktu yang digunakan dalam proses adsorpsi maka akan semakin besar zat-zat yang teradsorpsi (Raditya, 2016).

2.3 Kapasitas dan Efektivitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi menyatakan banyaknya adsorbat yang mampu terakumulasi pada permukaan adsorben sehingga ketika proses adsorpsi berlangsung pada kondisi optimum maka akan diperoleh arang aktif dengan kapasitas adsorpsi yang maksimal (Apriyanti, dkk., 2018). Penentuan kapasitas adsorpsi memerlukan kurva standar adsorben, sehingga berdasarkan kurva tersebut dapat diketahui nilai regresi liniernya. Setelah mendapatkan nilai regresi linier $y = ax + b$, kita dapat mencari konsentrasi yang diserap adsorben relative terhadap adsorben. Kemudian nilai konsentrasi adsorpsi diplot pada rumus di atas dan kemudian diperoleh nilai kapasitas adsorpsi.

Proses adsorpsi adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor dan mempunyai tipe isoterm adsorpsi yang spesifik. Jenis adsorben, luas permukaan adsorben,

konsentrasi adsorben dan suhu merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Dengan faktor tersebut, maka setiap adsorben yang mengadsorpsi suatu zat ke zat lain tidak akan mempunyai sifat yang sama. pola adsorpsi yang sama.

Sedangkan efektivitas adsorpsi adalah ukuran sejauh mana suatu proses adsorpsi berhasil menghilangkan atau mengurangi konsentrasi zat pencemar dari suatu medium, seperti air atau udara, dalam suatu sistem tertentu. Efektivitas ini dinilai berdasarkan seberapa besar zat teradsorpsi oleh adsorben dalam kondisi tertentu, yang biasanya dinyatakan dalam persen (%).Efektivitas ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti, Jenis dan luas permukaan adsorben, pH larutan, Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, Suhu, Konsentrasi awal zat pencemar, dan Kehadiran ion lain dalam larutan. Dalam konteks pengolahan air, efektivitas adsorpsi menjadi parameter kunci untuk menentukan kelayakan suatu material sebagai adsorben, seperti arang aktif, zeolit, *fly ash*, atau biomassa hasil modifikasi.

2.4 Logam Berat Timbal (Pb)

Logam berat termasuk ke dalam logam lainnya, yang membedakan yaitu pengaruh yang diberikan saat logam berat masuk atau berikatan dengan organisme hidup. Logam terbagi menjadi 2 bagian yaitu ada logam berat dan logam ringan. Logam ringan memiliki masa kurang dari 5g setiap m^3 sedangkan logam berat memiliki massa 5 g setiap m^3 nya. Sebagian logam berat seperti Cu, Fe, Zn dengan jumlah yang tidak melebihi batas dapat menjaga metabolisme tubuh. Logam berat Pb, Hg, As dan Cd termasuk logam nonesensial karena tidak memiliki fungsi di dalam tubuh, logam berat tersebut dapat sangat berbahaya bagi tubuh manusia yang menyebabkan toksik atau keracunan.

Logam berat adalah komponen alami dari tanah dan sulit untuk didegradasi atau dihancurkan, logam berat dapat terakumulasi ke dalam tubuh manusia melalui makanan, minuman dan udara. Bioakumulasi logam berat jika kadar logam berat berlebihan dan tidak dapat dimetabolisme dan tidak terjadinya biotransformasi ke senyawa lain. Logam berat di tanah tidak berasal secara dari alam saja akan tetapi

banyak penyebab terjadinya kontaminan logam berat di tanah seperti pupuk, pestisida, kendaraan bermotor, industri, pertambangan dan kegiatan lainnya (Irianti dkk., 2017).

Adhani dkk (2017) mengatakan, senyawa logam berat yang dapat memberikan dampak bahaya pada lingkungan dan manusia yaitu:

- a. Logam berat yang sulit untuk didegradasi dan menyebabkan terakumulasinya logam berat di lingkungan
- b. Logam berat dapat terakumulasi ke dalam organisme dan juga konsentrasi logam berat yang ada akan semakin tinggi
- c. Logam berat lebih mudah untuk terakumulasi pada sedimen daripada terakumulasi di perairan.

Bahan pencemar berupa logam berat yang masuk ke dalam air dapat menurunkan kualitas air dan memiliki efek buruk pada biota, karena kepadatannya yang lebih tinggi dari pada air. Logam berat kemudian akan terendap pada sedimen dan detritus. Biota laut yang terdampak langsung karena hidup di dasar/sedimen adalah moluska (Priatna dkk., 2016). Logam berat yang sudah mengendap di dasar bisa kembali ke badan perairan kemudian tersebar ke segala arah karena adanya arus pasang surut (Selpiani dan Rosalina, 2015).

Logam berat yang dapat terakumulasi ke dalam ikan, jumlah serapan dan distribusi logam berat pada ikan tergantung dengan senyawa dan konsentrasi polutan. Timbal yang masuk ke dalam ekosistem dapat menyebabkan pencemaran sehingga mempengaruhi biota air yang ada di tempat tercemar *juvenile* tersebut. Pencemaran ini dapat menyebabkan kerusakan pada histopatologi pada ikan bahkan dapat menyebabkan kematian, pada ikan terutama pada fase *juvenile* akibat toksisitas yang tinggi (Irianti dkk., 2017).

Keracunan yang disebabkan oleh logam berat Timbal (Pb) yang masuk ke dalam ke tubuh melalui pernafasan, oral dan kulit. Penyerapan pada bagian pernafasan akan terbawa ke paru-paru dan akan berikatan pada darah kemudian akan

menyebar ke seluruh tubuh, pada oral kandungan logam berat yang masuk melalui oral akan masuk ke pencernaan kemudian masuk ke dalam darah, kemudian untuk penyerapan pada kulit dikarenakan timbal yang dapat masuk atau menyerap pada kulit dan terserap permukaan kulit. Toksisitas logam berat pada tubuh manusia dapat mengikuti mekanisme ionik dan menyebabkan terjadinya tekanan pada oksidatif.

Timbal yang masuk ke dalam tubuh dapat dilakukan analisis menggunakan sampel darah, jika kandungan timbal yang berada di darah $\geq 10\mu\text{g/dL}$ berdasarkan The Centers for Disease Control and Prevention (CDC) serta The American Academy of Pediatrics (AAP) dan organisasi nasional lainnya maka perlu dilakukan penanganan. Selain di darah Timbal juga dapat terakumulasi pada bagian rambut karena terdapat senyawa sulfida yang dapat mengikat Timbal.

Menurut Dewa (2015), Industri yang menggunakan Pb sebagai bahan baku dan bahan penolong, seperti industri pengecoran logam, pembuatan baterai, kabel, dan industri kimia dalam pembuatan cat, berpotensi menjadi sumber pencemaran Pb. Sehingga kerusakan lingkungan perairan dapat terjadi, misalnya melalui pencemaran sungai. Kehadiran Pb dalam air memiliki efek merugikan pada kehidupan akuatik. Badan air yang telah tercemar Pb dalam kadar tinggi dapat menyebabkan kematian banyak biota. Pada aliran sungai di desa Krueng Cut pada Sungai Kreung Aceh yang terkontaminasi logam Pb menurut Hasmunir dkk (2016) mengandung kandungan Pb sebesar 0,1645 mg/L. Dan pada penelitian Astuti dkk (2016) kadar logam Pb pada air laut di pesisir Krueng Raya pada setiap stasiun bervariasi dari yang tertinggi hingga yang terendah. Kadar logam sampel air yang dikumpulkan di empat stasiun berkisar antara 2.429 mg/L di stasiun II, 1.919 mg/L di stasiun IV, 1.774 mg/L di stasiun I, dan terakhir 1.701 mg/L di stasiun III.

2.5 Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal merupakan salah satu unsur kimia dalam tabel periodik yang termasuk dalam kategori logam berat. Lambang Pb diambil dari bahasa latin yaitu “Plumbum” atau yang biasa dikenal dengan sebutan timah hitam. Dalam tabel periodik unsur

kimia, timbal memiliki lambang Pb dengan nomor atom 82 dan berat atom 207,2 yang berada pada golongan IV A. Timbal murni memiliki warna kebiruan atau abu-abu keperakan yang umumnya terdapat dalam endapan sulfit dan tercampur pada mineral seperti tembaga dan seng (Cahyani, 2017).

Timbal banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Dalam kegiatan industri, timbal dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan baterai, pipa Polyvinyl Chloride (PVC), pelapis kabel, penyepuhan dan solder. Logam berat timbal (Pb) banyak dimanfaatkan dalam berbagai keperluan karena sifat timbal yang mudah dibentuk, tahan panas dan tidak mudah mengalami korosi. Timbal termasuk dalam logam berat non esensial sehingga memiliki tingkat toksisitas tinggi yang berbahaya bagi tubuh. Ambang batas maksimum logam berat timbal yang dapat ditoleransi oleh tubuh manusia adalah 2 mg/hari. Akumulasi timbal dalam tubuh dapat menyebabkan terganggunya sistem syaraf dan pencernaan. Efek toksisitas pada timbal dapat menyerang sistem syaraf pada otak, sehingga dapat menyebabkan kerusakan jaringan dalam otak besar, halusinasi, epilepsi dan derilium. Sedangkan pada sistem pencernaan unsur timbal dapat merusak ginjal.

2.6 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri Serapan Atom merupakan perangkat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Logam-logam yang mudah diuapkan seperti Cu, Zn, Pb dan Cd umumnya ditentukan pada suhu rendah, sedangkan untuk unsur-unsur yang tidak mudah diatomisasi diperlukan suhu tinggi. Prinsip metode AAS adalah absorpsi cahaya oleh atom, yang atom-atom tersebut menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya (Husin, 2022).

Cara kerja spektrofotometri serapan atom adalah berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang

tertentu menurut jenis logamnya. Pengurangan intensitas radiasi yang diberikan sebanding dengan jumlah atom pada tingkat tenaga dasar yang menyerap energi radiasi tersebut. Dengan mengukur intensitas radiasi yang diteruskan (transmisi) atau mengukur intensitas radiasi yang diserap maka konsentrasi unsur di dalam cuplikan dapat ditentukan.

Kelebihan analisis unsur dengan SSA antara lain analisis dapat dilakukan dengan cepat, ketelitian tinggi sampai tingkat runut (kemungkinan untuk menentukan konsentrasi semua unsur pada konsentrasi runut), dan tidak memerlukan pemisahan (penentuan suatu unsur dapat dilakukan dengan kehadiran unsur lain, asalkan katoda berongga yang diperlukan tersedia). Alat ini memiliki sensitivitas yang sangat tinggi, sehingga sering dijadikan sebagai pilihan utama dalam menganalisis unsur logam yang konsentrasinya sangat kecil (ppm bahkan ppb). Penentuan konsentrasi unsur logam dalam sampel dapat dilakukan antara absorbansi terhadap konsentrasi larutan standar. Hal ini sesuai dengan Hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa jumlah energi yang diserap (absorbansi) sebanding dengan konsentrasi (C) (Rizki, 2021). Berikut adalah bentuk alat Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) :



Gambar 2.1 Alat Spektrofotometri Serapan Atom

Sumber : Augitama, 2023

2.7 pH

pH air merupakan parameter yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda (Sofyan, 2019). Kadar pH diukur pada skala 0 sampai 14. Istilah pH berasal dari “p” lambang matematika dari negatif algoritma, dan “H” lambang kimia untuk unsur Hidrogen. Definisi yang formal tentang pH adalah negatif logaritma dari aktivitas ion H^+ hidrogen. Dapat dinyatakan dengan persamaan “ $pH = - \log [H^+]$ ”, pH dibentuk dari informasi kuantitatif yang dinyatakan oleh tingkat keasaman atau basa yang berkaitan dengan aktivitas ion hidrogen.

Jika konsentrasi H^+ lebih besar daripada OH^- , maka material tersebut bersifat asam, yaitu nilai pH kurang dari 7. Jika konsentrasi OH^- lebih besar daripada H^+ , maka material tersebut bersifat basa, yaitu dengan nilai pH lebih dari 7 (Sugeng dan Sulardi, 2019). pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. pH merupakan suatu ukuran pada kualitas limbah cair, dalam hal ini sangat berpengaruh terhadap kehidupan biologi dalam air serta dapat pula mempengaruhi bahan kimia tertentu, yang sering berubah menjadi lebih toksik. Tingkat asiditas atau alkalinitas suatu sampel diukur berdasarkan skala pH yang menunjukkan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan tersebut. pH adalah parameter yang penting dalam proses menghilangkan polutan dari air limbah dengan proses adsorpsi. Wen dkk (2018) dalam penelitiannya menyebutkan adsorpsi sangat bergantung pada pH dan kapasitas adsorpsi batang jagung termodifikasi semakin besar seiring besarnya nilai pH. Hal ini dikarenakan adanya perubahan muatan permukaan adsorben pada kondisi pH tertentu, yang mempengaruhi daya tarik antara adsorben dan adsorbat.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat dijadikan sebagai sumber referensi akademik sebagai dasar acuan dalam penyusunan kerangka penelitian yang

akan dilaksanakan. Penelitian terdahulu berfungsi sebagai pendukung dalam memperkuat teori yang akan digunakan penulis. Berikut beberapa pada Tabel 2.1 ditampilkan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben dalam penyisihan logam berat.

Table 2.1 Penelitian *Fly Ash* Sebagai Adsorben

No	Nama Dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
1.	Rio Batu Bara, 2023	Pemanfaatan <i>bottom ash</i> kelapa sawit sebagai adsorben untuk penyisihan logam timbal (Pb)	Efektivitas penyerapan adsorben <i>bottom ash</i> kelapa sawit pada massa 0,8 g dengan waktu pengadukan 60 menit sebesar 94,197%, dan waktu pengadukan 30 menit sebesar 94,112%. Kapasitas penyerapan pada massa 0,2 g dengan waktu pengadukan 60 menit sebesar 52,680 mg/g dan waktu pengadukan 30 menit sebesar 41,920 mg/g.
2.	Dona Ambia, 2021	Pemanfaatan <i>fly ash</i> batu bara sebagai adsorben pada penyerapan polutan di pengolahan air lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar	Pada massa optimum 100 gr/L memiliki efektivitas penyisihan Mn sebesar 98,09%, Zn sebesar 97,41%, Fe 97,20%, BOD 78,39% dan COD 14,80%.
3.	Avelia Putri Wardani, Safirda Dwi Maulidz, Anang Takwanto, Erwan Yulianto, 2021	Pemanfaatan <i>fly ash</i> sebagai material adsorben untuk menurunkan kandungan logam Fe pada limbah	penurunan kandungan logam Fe paling baik sebesar 4,459 ppm pada penggunaan larutan NaOH 3 M dengan suhu 160°C dari konsentrasi awal sebelum adsorpsi sebesar 4,46

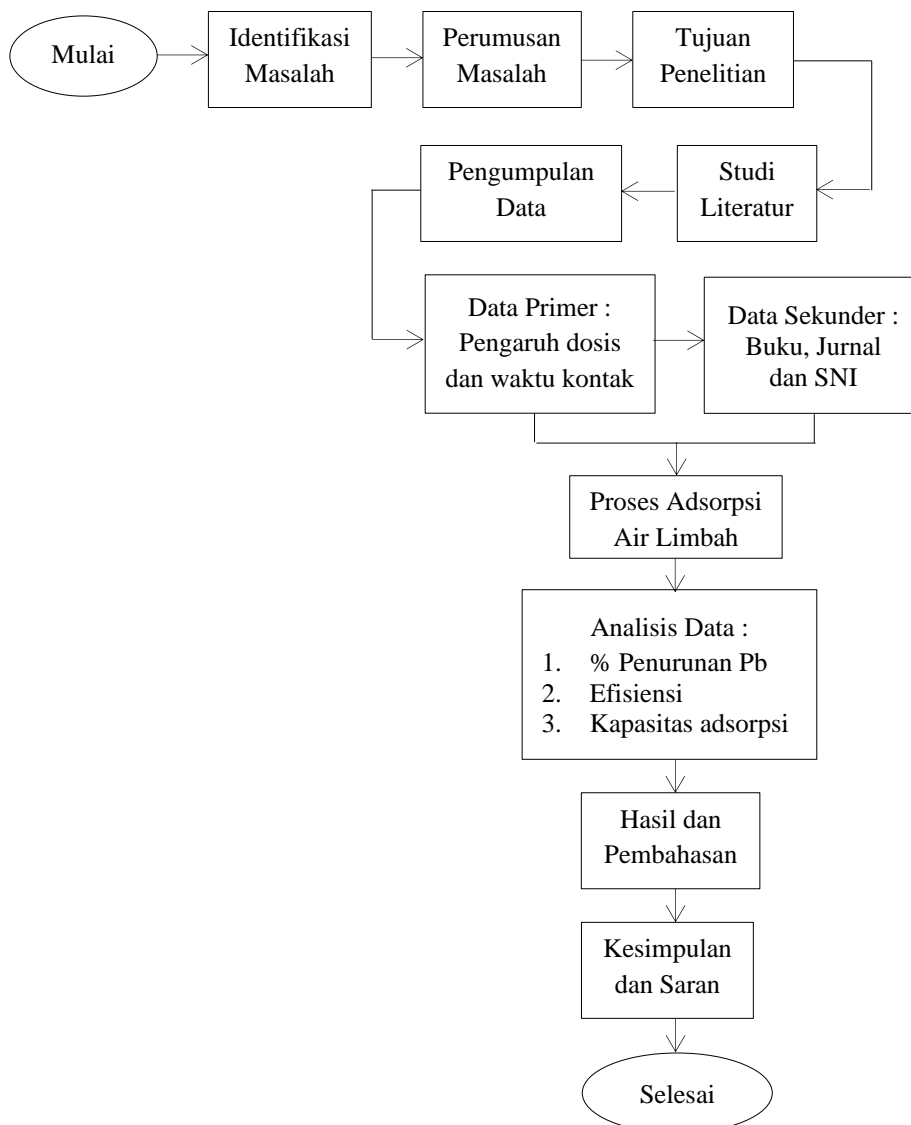
No	Nama Dan Tahun Penelitian	Judul	Hasil Penelitian
		cair di unit <i>waste water treatment plant</i> PT PONI	ppm menjadi 0,001 ppm. Sedangkan adsorben antrasit penurunan logam Fe pada limbah cair sebesar 2,31 ppm persentase penurunan sebesar 51,84%.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Umum Penelitian

Tahapan penelitian merupakan salah satu hal yang penting. Oleh karena itu, tahapan penelitian harus disusun sedemikian rupa secara sistematis. Tahapan penelitian yang dilakukan Penulis dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Umum Penelitian

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan dan Teknik Kimia Universitas Serambi Mekkah. Analisis Pb dilakukan di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Banda Aceh Laboratorium Uji. Waktu penelitian dilakukan selama 2 bulan dari Januari sampai dengan Februari 2025. Tahap penelitian meliputi persiapan awal, Identifikasi Masalah, Studi Literatur, Pengumpulan Data, Pengujian Adsorben *Fly Ash* Batu Bara dalam menurunkan konsentrasi logam berat Pb, analisis dan pengolahan data.

3.3 Jadwal Penelitian

Kegiatan penelitian berlangsung selama enam bulan yang meliputi kegiatan identifikasi masalah, penulisan proposal, perancangan, seminar proposal, persiapan alat dan bahan, pengumpulan data, pengolahan data dan penulisan laporan serta diakhiri sidang. Adapun rincian jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No	Uraian	Tahun 2024												Tahun 2025																									
		Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli	
		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				
1	Identifikasi Masalah																																						
2	Penulisan Proposal																																						
3	Perancangan																																						
4	Seminar Proposal																																						
5	Persiapan Alat dan Bahan																																						
6	Aktivasi Adsorben																																						
7	Pembuatan Larutan Timbal																																						
8	Proses Adsorpsi																																						
9	Analisis Data																																						
10	Konsultasi																																						
11	Sidang																																						

3.4 Bahan dan Alat

3.4.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Timbal nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), larutan natrium asetat trihidrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 1 N, *Fly Ash* batu bara dan aquades.

3.4.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Spektrofotometri Serapan Atom, pH meter, oven, *jar test*, labu ukur, botol sampel, pengaduk, pipet volume, kertas saring, corong, ayakan 100 mesh, neraca analitik, *breaker glass*, *stopwatch*.

3.5 Metode Penelitian

Dalam penelitian yang berjudul “Pemanfaatan *Fly Ash* batu bara sebagai adsorben untuk mengolah Logam Berat Timbal (Pb)” menggunakan jenis penelitian kuantitatif. Pada penelitian ini, dilakukan pengumpulan data faktual berdasarkan hasil eksperimen dan pengujian di laboratorium. Penelitian ini menggunakan variabel terikat dan variabel tetap untuk mengetahui kemampuan adsorpsi *fly ash* batu bara dalam penyisihan logam timbal (Pb). Pada tabel 3.2 ditabulasikan variabel terikat dan variabel tetap pada penelitian.

Tabel 3.2 Variabel Tetap dan Terikat

Variabel Tetap	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none">Konsentrasi aktivator kimia Natrium Asetat Trihidrat 1 NKonsentrasi awal Pb dalam larutan 3,8 mg/lKecepatan pengadukan 150 rpm	<ul style="list-style-type: none">Dosis adsorben 2, 4, 6 dan 8 grWaktu pengadukan 30, 60 dan 90 menit

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yang sistematis untuk memastikan keakuratan data. Berikut beberapa tahap prosedur penelitian :

3.6.1 Aktivasi Adsorben

1. Sebelum proses aktivasi dilakukan, *fly ash* batu bara terlebih dahulu dicuci dengan aquades untuk menghilangkan kotoran, kemudian abu tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam.
2. Abu kering diayak dengan ayakan ukuran 100 mesh. Proses aktivasi dilakukan dengan perbandingan 1:2 (b/v) antara *fly ash* batu bara dengan larutan natrium asetat trihidrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 1 N dan dilakukan perendaman selama 24 jam.
3. Setelah itu, karbon aktif batu bara ditiriskan dari larutan natrium asetat trihidrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 1 N, kertas saring digunakan untuk memisahkan abu dari larutan kemudian dicuci dengan aquades sampai pH abu menjadi netral.
4. Karbon aktif batu bara kemudian kembali dikeringkan di dalam oven dengan suhu 125 °C selama 3 jam (Sopiah dkk., 2017).

3.6.2 Pengujian Adsorben

Untuk mengetahui apakah adsorben telah terbentuk dengan baik, dapat dilakukan pengujian sifat-sifatnya, antara lain kadar air dan kadar abu yang dikandungnya. Mutu arang aktif mengacu pada SNI No. 06-3730-1995 tentang Baku Mutu Arang Aktif.

Tabel 3.3 Karakteristik Arang Aktif

Parameter	Standar Baku Mutu Arang Aktif
Kadar Air	Maksimum 15%
Kadar Abu	Maksimum 10%

(Sumber: SNI No. 06-3730-1995)

Untuk mengetahui kadar airnya, adsorben ditimbang sebanyak 2 g, dan dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah ditimbang sebelumnya. Cawan dan adsorben dimasukkan ke dalam oven bersuhu 100°C selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang, ditunjukkan pada Persamaan 3.1 berikut:

$$Kadar\ air = \left(\frac{a-b}{a} \right) \times 100\% \quad \text{Persamaan (3.1)}$$

Berat awal adsorben adalah a (g), dan berat adsorben setelah pengeringan adalah b (g).

Untuk menentukan kadar abu adsorben, 2 g adsorben dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya, kemudian sampel dinyalakan di dalam muffle furnace pada suhu 550 °C selama 90 menit atau sampai semua sampel berubah menjadi abu. Cawan tersebut kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.2 di bawah ini :

$$Kadar\ abu = \left(\frac{a}{b} \right) \times 100\% \quad \text{Persamaan (3.2)}$$

Dimana a adalah berat abu (g), dan b adalah berat adsorben kering awal (g).

3.6.3 Pembuatan Larutan Timbal (Pb)

Pembuatan larutan timbal ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) ditimbang sebanyak 0,015 gram dilarutkan dengan aquades dalam *beaker glass*, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 500 ml sehingga diperoleh larutan Pb_2 dengan konsentrasi 3,8 mg/l dengan menambahkan aquades sampai tepat tanda batas. Lalu larutan tersebut dianalisa

terlebih dahulu menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk mengetahui kadar Pb_2 sebenarnya (SNI. 6989.8:2009).

3.6.4 Proses Adsorpsi

Adsorben *fly ash* ditimbang sebanyak 2 g dan dimasukkan ke dalam gelas kimia yang telah terisi 500 mL larutan Pb 3,8 mg/L. Proses adsorpsi oleh adsorben *fly ash* dilakukan dengan kecepatan pengadukan 150 rpm menggunakan *jar test*. Setelah waktu pengadukan selama 30 dan 60 menit, Hasil adsorpsi selanjutnya dianalisis konsentrasi Pb dan pH-nya. Percobaan yang sama dilakukan pada massa adsorben 4, 6, dan 8 g dan percobaan yang sama dilakukan dengan waktu pengadukan selama 90 menit (Batu Bara, 2023).

3.7 Analisis Pb dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri digunakan untuk mengukur jumlah Pb_2 dalam sampel. Larutan Pb_2 dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah disediakan pada perangkat SSA, dilakukan setting pada komputer perangkat SSA pengguna, menyalakan api dan lampu katoda SSA, posisi lampu juga diatur untuk menyerap jumlah radiasi yang maksimal. Kemudian larutan Pb_2 dilewatkan melalui nyala asetilena, pembacaan harus nol. Secara berturut-turut, larutan Pb_2 dianalisis menggunakan spektrofotometri serapan atom dan hasil analisis akan dicatat kemudian dihitung untuk mendapatkan konsentrasi logam dalam larutan timbal (Pb) (SNI. 6989.8:2009).

3.8 Analisis Data

3.8.1 Analisis pH Sebelum dan Sesudah Proses Adsorpsi

Pengukuran pH menggunakan pH meter sesuai SNI 066989.11-2004. Setiap melakukan pengukuran, gunakan larutan buffer untuk mengkalibrasi pH meter sesuai petunjuk kerja alat. Keringkan dengan kertas tisu kemudian bilas elektroda dengan air suling. Bilas elektroda dalam larutan timbal. Celupkan elektroda ke dalam larutan Pb

sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang stabil. Catat pembacaan skala atau angka pada layar pH meter (Batu Bara, 2023).

3.8.2 Penentuan Efisiensi

Efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut:

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

- E : Efisiensi (%)
- C₀ : Konsentrasi awal (mg/L)
- C₁ : Konsentrasi setelah pengolahan (mg/L)

3.8.3 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi ditentukan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil analisis Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Data yang diperoleh tersebut kemudian dihitung kapasitas adsorpsi dengan menggunakan Persamaan 3.2 berikut:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

- Q_e = kapasitas adsorpsi (mg/g)
- C₀ = konsentrasi awal Pb (mg/L)
- C_e = konsentrasi akhir Pb (mg/L)
- W = massa adsorben (g)
- V = volume larutan Pb

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

Penelitian ini menggunakan *fly ash* batu bara sebagai adsorben untuk menurunkan konsentrasi logam berat Timbal (Pb). Pada proses awal *fly ash* terlebih dahulu dicuci menggunakan aquades untuk menghilangkan kotoran dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120 °C. Selanjutnya *fly ash* kering diayak dengan ayakan 100 mesh, kemudian diaktivasi secara kimia menggunakan larutan natrium asetat trihidrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 1 N dengan rasio 1 : 2 selama 48 jam.. Proses ini berfungsi untuk membuka pori-pori adsorben *fly ash* batu bara tersebut sehingga dapat menghilangkan pengotor di adsorben, serta dapat menambah luas permukaan adsorben. Adsorben disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan adsorben dari larutan kemudian dicuci dengan aquades sampai pH larutan menjadi netral. Selanjutnya dikeringkan di dalam oven dengan suhu 125 °C. Pada Tabel 4.1 ditampilkan hasil analisa karakteristik *fly ash*.

Tabel 4.1 Karakteristik *Fly Ash* sebelum dan sesudah menjadi adsorben

No	Parameter	Hasil Analisa (%)		Standar Baku Mutu Arang Aktif	SNI 06-3730-1995
		Sebelum	Sesudah		
1	Kadar Air	11	2,25	Maksimum 15%	Memenuhi
2	Kadar Abu	7	3,9	Maksimum 10%	Memenuhi

Pada Tabel 4.1 nilai kadar air dan kadar abu *fly ash* sebelum menjadi adsorben mendapatkan hasil yaitu nilai kadar air sebesar 11 yang masih dibawah baku mutu dan untuk kadar abu sebesar 7 yang dibawah baku mutu. Berdasarkan hasil analisa karakteristik arang aktif diatas dapat dijelaskan kadar air pada *fly ash* batu bara sebelum dijadikan adsorben sebesar 11%, sedangkan setelah menjadi adsorben, kadar airnya menurun menjadi 2,25%. Penurunan kadar air ini menunjukkan keberhasilan

proses aktivasi atau perlakuan awal dalam mengurangi kelembaban. Menurut Sutrisno et al. (2018), kadar air yang rendah pada adsorben dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi karena pori-pori aktif menjadi lebih tersedia untuk interaksi dalam penyerapan logam berat.

Sementara itu, kadar abu *fly ash* sebelum dijadikan adsorben sebesar 7%, dan setelah proses menjadi adsorben mengalami penurunan menjadi 3,9%. Penurunan kadar abu ini dapat disebabkan oleh hilangnya senyawa-senyawa anorganik yang tidak aktif selama proses aktivasi atau pencucian. Menurut Putri dan Hadiyanto (2017), pengurangan kadar abu dapat meningkatkan kualitas adsorben karena fraksi mineral yang tidak aktif dapat mengurangi kapasitas adsorpsi bahan aktif. Karakteristik adsorben *fly ash* yang dihasilkan telah memenuhi SNI 06-3730-1995 yaitu dibawah 15 % dengan hasil analisa untuk kadar air sebelum sebesar 11% dan sesudah sebesar 2,25% sedangkan untuk kadar abu sebelum menjadi adsorben yaitu 7% dan sesudah sebesar 3,9%.

Hasil analisa kadar abu arang aktif pada tabel 4.1 menunjukkan kadar abu yang di bawah baku mutu, sehingga dapat membuka area permukaan yang lebih besar yang tersedia untuk adsorpsi. Kadar abu tersebut dapat meningkatkan kemampuan arang aktif untuk menyerap zat-zat yang tidak diinginkan dan lebih murni dan bebas dari kontaminan tambahan yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Berikut pada gambar 4.1 dan 4.2 ditampilkan *fly ash* batu bara sebelum dan sesudah dikeringkan menjadi adsorben.



Gambar 4.1 *Fly Ash* Sebelum Perlakuan



Gambar 4.2 Adsorben dari *Fly Ash*

Penggunaan *fly ash* batu bara merupakan salah satu langkah alternatif untuk penyerapan logam berat Pb. Keuntungan penggunaan *fly ash* selain mudah didapat namun juga sangat tergolong murah sebagai pengganti adsorben yang pernah digunakan sebelumnya, selain itu juga dapat mengurangi hasil limbah padat yang dihasilkan oleh PLTU Nagan Raya.

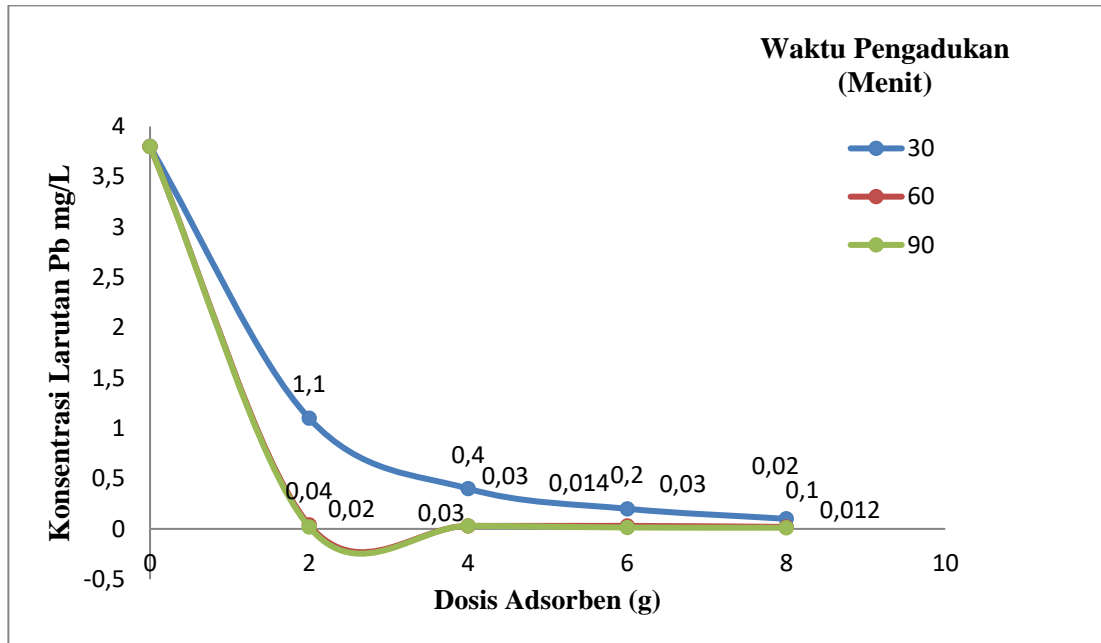
4.2 Hasil Penyisihan Logam Pb Menggunakan Arang Aktif *Fly Ash* Pada Variasi Dosis dan Waktu Pengadukan

Dalam proses adsorpsi ini menggunakan alat *jar* test, dengan kecepatan pengadukan 150 rpm. Kemampuan adsorben *fly ash* batu bara dalam menyerap logam berat Pb yang menggunakan variasi dosis adsorben yaitu 2, 4, 6, dan 8 gram dan variasi waktu pengadukan sebesar 30, 60 dan 90 menit. Setelah proses adsorpsi dilakukan selanjutnya larutan didiamkan selama 90 menit agar adsorben tersebut dapat dianalisa kandungan Pb kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Adapun hasil proses adsorpsi penyerapan Pb dan pH menggunakan adsorben *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Penyisihan Kandungan Logam Pb Menggunakan Adsorben*Fly Ash*

No	Waktu Pengadukan (menit)	Dosis Adsorben (gram)	Hasil Analisa Pb (mg/L)	
			Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan
1	30	2	3,8	1,1
2		4		0,4
3		6		0,2
4		8		0,1
5	60	2	3,8	0,04
6		4		0,03
7		6		0,03
8		8		0,02
9	90	2	3,8	0,02
10		4		0,03
11		6		0,014
12		8		0,012

Berdasarkan hubungan antara dosis adsorben dan waktu pengadukan terhadap penurunan kadar logam Pb. Dapat dilihat di bawah ini merupakan Gambar 4.3 hasil penurunan Pb.



Gambar 4.3 Hasil Penurunan Pb

Pada **Gambar 4.3** menunjukkan hasil analisis pengujian kandungan logam timbal (Pb) dalam larutan sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan variasi dosis adsorben dan waktu pengadukan. Pada gambar tersebut, konsentrasi awal logam Pb dalam larutan sebesar 3,8 mg/L untuk semua perlakuan. Pada waktu pengadukan 30 menit, penurunan kadar Pb terlihat bertahap sesuai dengan peningkatan dosis adsorben, dari 1,1 mg/L dengan 2 gram adsorben hingga 0,1 mg/L dengan 8 gram adsorben. Pada waktu pengadukan 60 menit, hasilnya jauh lebih signifikan, dengan kadar Pb berkurang menjadi 0,04 mg/L pada dosis 2 gram dan menurun hingga 0,02 mg/L pada dosis 8 gram. Sementara itu, perlakuan pada waktu pengadukan 90 menit menunjukkan hasil yang paling efektif. Kadar Pb berhasil diturunkan menjadi 0,012 mg/L pada dosis adsorben 8 gram, yang merupakan hasil terendah dalam seluruh percobaan.

Berdasarkan penjelasan di atas bahwa penurunan ini dapat meningkatkan jumlah situs aktif yang tersedia untuk mengikat ion Pb. Namun, setelah semua ion Pb

dalam larutan terikat, penambahan adsorben tidak lagi meningkatkan efisiensi penurunan karena tidak ada ion Pb tersisa untuk diadsorpsi. Selain itu, peningkatan dosis adsorben dapat menyebabkan aglomerasi partikel, yang mengurangi luas permukaan efektif dan jumlah situs aktif yang tersedia. Oleh karena itu, penting untuk menentukan dosis adsorben yang optimal dalam proses adsorpsi untuk penurunan kadar Pb (Angraini dkk, 2022).

4.3 Pengaruh Dosis dan Waktu Pengadukan Terhadap pH

Pada penelitian ini, dilakukan uji pengaruh dosis adsorben *fly ash* dan waktu pengadukan terhadap pH dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil Uji Parameter pH Menggunakan Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

No	Parameter	Dosis Adsorben (gram)	Variasi Waktu (Menit)	Nilai Awal pH	Nilai Akhir pH	Baku Mutu
1	pH	2	30	5,9	7	6-9
2			60	5,9	7,1	6-9
3			90	5,9	7	6-9
4		4	30	5,9	7,1	6-9
5			60	5,9	7,1	6-9
6			90	5,9	7,1	6-9
7		6	30	5,9	7	6-9
8			60	5,9	7	6-9
9			90	5,9	7,2	6-9
10		8	30	5,9	7,1	6-9
11			60	5,9	7,1	6-9
12			90	5,9	7,2	6-9

Sumber : (Data Primer)

Berdasarkan hasil pengujian pH sesudah adsorpsi yaitu dengan rentang pH awal 5,9 sampai 7,2. Pada 2 gram pH naik menjadi 7 dalam 30 menit, 7,1 dalam pengadukan 60 menit dan 7 dalam 90 menit. Peningkatan tertinggi pada 6 gram yaitu 90 menit menjadi 7,2, 60 menit naik sebesar 7, 30 menit naik menjadi 7 dan 9 gram dengan 90 menit naik sebesar 7,2, 60 menit naik 7,1 dan 30 menit naik menjadi 7,1. Kenaikan pH semakin meningkat dengan bertambahnya massa adsorben *fly ash* dan waktu pengadukan.

Ketika unsur logam terlarut dalam air, unsur tersebut akan terdisosiasi menjadi ion-ion logam dan ion-ion lainnya. Pada kondisi tertentu, ion logam tersebut dapat diserap oleh adsorben dengan gaya Van der Waals, yaitu gaya tarik-menarik yang terjadi antara partikel adsorben dan ion logam. Adanya gaya Van der Waals ini menyebabkan ion-ion logam terikat pada permukaan adsorben, sehingga ion-ion tersebut terpisah dari larutan. Sementara itu, ion hidroksida (OH^-) terbentuk dari ionisasi air (H_2O), yang dapat terjadi secara spontan pada kondisi tertentu. Ion OH^- ini cenderung tidak teradsorpsi oleh adsorben, sehingga akan tertinggal dalam larutan (Bonilla dkk., 2017).

Dalam proses ini ion logam yang terikat pada adsorben digantikan oleh ion H^+ yang dilepaskan dari gugus fungsi asam, sehingga jumlah ion H^+ pada larutan berkurang dan pH meningkat. Seiring bertambahnya waktu kontak antara adsorben dan larutan logam, jumlah ion logam yang terikat pada adsorben akan bertambah dan jumlah ion H^+ yang dilepaskan akan semakin banyak. Hal ini akan menyebabkan peningkatan pH pada larutan karena ion H^+ berkurang dan tersisa ion OH^- yang berkontribusi pada kenaikan pH. (Heriyani dan Mugisidi, 2016).

Pada umumnya, semakin lama waktu pengadukan semakin besar kemungkinan terjadi interaksi antara adsorben dan ion dalam larutan yang dapat menyebabkan perubahan pH (Wakkel dkk., 2019). Jika adsorben memiliki kemampuan menangkap ion H^+ , penambahan adsorben akan menyebabkan kenaikan pH larutan (Xie dkk., 2017). Namun perubahan pH juga dapat dipengaruhi oleh sifat-sifat adsorben dan ion dalam larutan (Siddiqui dkk., 2019).

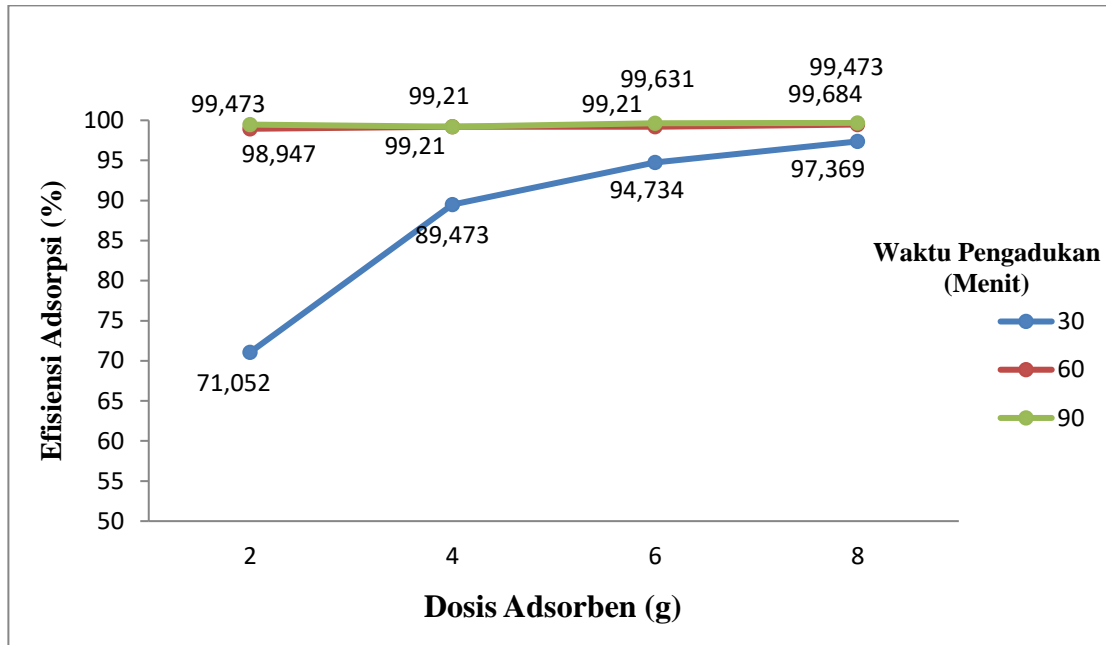
4.4 Hasil Analisa Efisiensi Adsorpsi Penurunan Logam Pb Arang Aktif *Fly Ash*

Hasil pengujian kemampuan adsorpsi *fly ash* dianalisis berdasarkan efisiensi adsorpsi yang dapat dihasilkan dari masing-masing adsorben yang telah diperlakukan. Berdasarkan efisiensi adsorpsi maka hasil yang dapat dilihat seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisa Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif *Fly Ash*

No	Waktu Pengadukan (menit)	Dosis Adsorben (gram)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	30	2	71,052
2		4	89,473
3		6	94,734
4		8	97,369
5	60	2	98,947
6		4	99,210
7		6	99,210
8		8	99,473
9	90	2	99,473
10		4	99,210
11		6	99,631
12		8	99,684

Menurut (Jawad dkk., 2018), penambahan massa adsorben mengakibatkan meningkatnya situs adsorpsi dari adsorben sehingga akan lebih banyak ion logam yang teradsorpsi pada permukaan adsorben. Pada gambar 4.4 diperlihatkan pengaruh dosis adsorben terhadap efisiensi adsorpsi logam Pb.



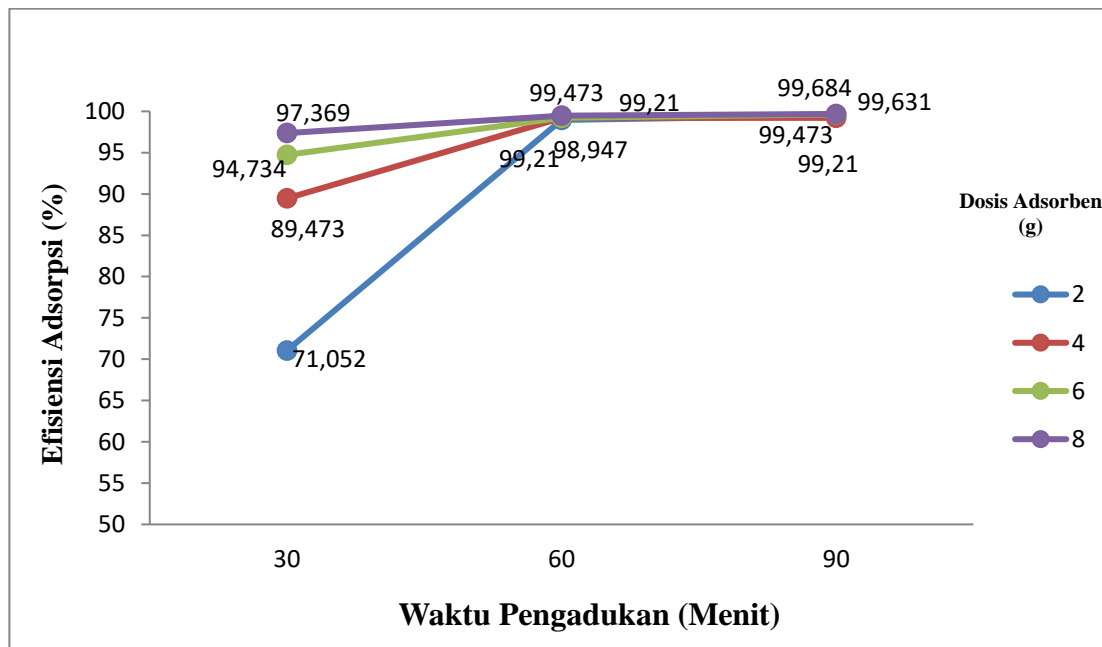
Gambar 4.4 Pengaruh Dosis Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Berdasarkan pada persentase adsorpsi Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.4** hubungan antara persentase adsorpsi dengan dosis adsorben *fly ash* yang digunakan. Pada waktu pengadukan 30 menit terlihat bahwa persentase adsorpsi mengalami kenaikan seiring bertambahnya dosis adsorben. Adsorpsi logam Pb oleh adsorben *fly ash* mengalami kenaikan secara perlahan pada dosis 2 g sampai dosis 8 g terjadi kenaikan adsorpsi yakni 71,052 % sampai dengan 97,369 %. Nilai adsorpsi tertinggi terdapat pada dosis 8 g dengan persentase sebesar 99,684 %. Persentase adsorpsi terendah pada dosis 2 g sebesar 71,052 %.

Pada waktu pengadukan 60 menit terlihat bahwa persentase kadar Pb Pada dosis 2 g ke 8 g mengalami kenaikan dari 98,947 % sampai dengan 99,473 %. Nilai adsorpsi tertinggi terdapat pada dosis 8 g dengan persentase sebesar 99,473 %. Persentase adsorpsi terendah pada dosis 2 g sebesar 98,947 %. Sedangkan pada waktu pengadukan 90 menit terlihat bahwa persentase kadar Pb Pada dosis 2 g ke 4 g mengalami penurunan dari 99,473 % sampai dengan 99,21 % dan pada dosis 6 g ke 8 g mengalami kenaikan dari 99,631 % menjadi 99,684 %. Peningkatan penyisihan Pb

dengan meningkatnya dosis adsorben terjadi karena luas permukaan menjadi lebih besar dan ketersediaan situs-situs aktif adsorpsi yang lebih banyak. Pada dosis adsorben yang kecil, permukaan adsorben menjadi jenuh dengan adsorbat logam Pb sedangkan sisa konsentrasi logam dalam larutan masih besar sehingga penyisihan relatif kecil (Raji dkk, 2023).

Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya dosis sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan sehingga menyebabkan bertambahnya sisi aktif adsorpsi dan efisiensi penyerapan-nya pun meningkat. Penyumbatan sisi aktif pada adsorben dapat mengganggu proses adsorpsi dan menyebabkan terjadinya penurunan persentase adsorpsi (Basu dkk, 2022).



Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Berdasarkan pada **Gambar 4.5** di atas menunjukkan bahwa adanya peningkatan jumlah adsorbat yang terserap pada waktu 90 menit dikarenakan banyaknya interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat. Pada adsorpsi logam Pb tersebut menunjukkan bahwa hasil adsorpsi yang tinggi dengan

menggunakan waktu pengadukan 90 menit dibandingkan dengan waktu pengadukan 30 dan 60 menit. Nilai persentase pada penurunan kadar logam Pb menggunakan waktu pengadukan 90 menit dengan nilai rata-rata sebesar 99,50 % waktu pengadukan 60 menit sebesar 99,21 % dan 30 menit sebesar 88,158 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada waktu pengadukan 90 menit adsorben *fly ash* berinteraksi lebih baik dibandingkan pada waktu pengadukan 60 dan 30 menit. Hal ini terjadi karena pada awal penyerapan, permukaan adsorben masih belum terlalu banyak berikatan dengan Pb sehingga proses penyerapan berlangsung kurang efektif.

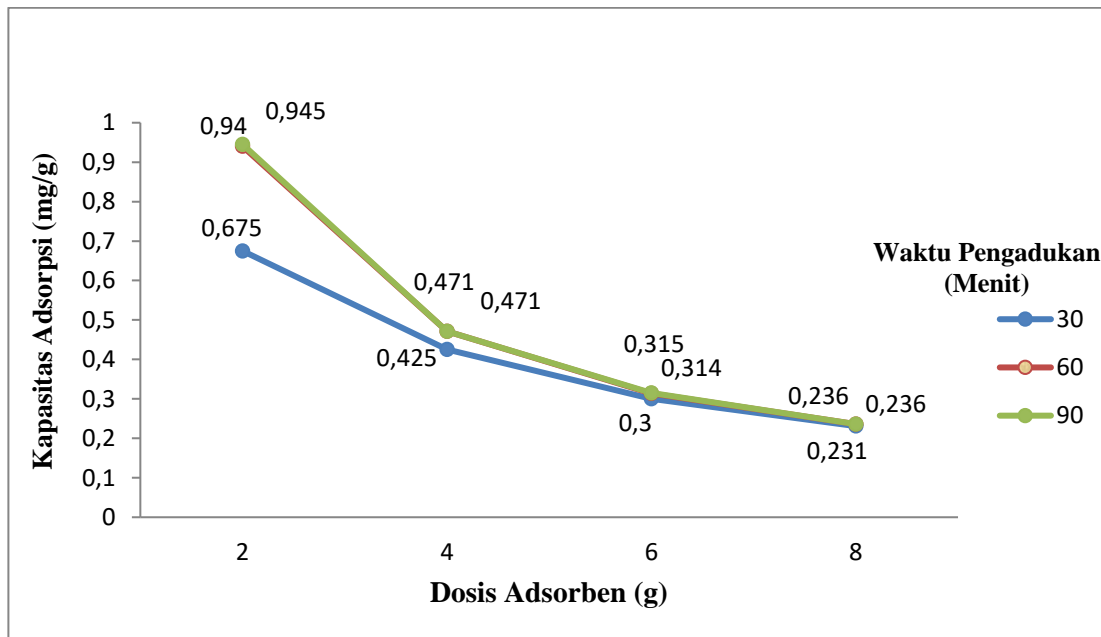
4.5 Hasil Analisa Kapasitas Adsorpsi Penurunan Logam Pb Arang Aktif *Fly Ash*

Hasil tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi dari masing-masing dosis dan waktu pengadukan berbeda-beda. Berdasarkan kapasitas adsorpsi maka hasil yang dapat dilihat seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Analisa Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif *Fly Ash*

No	Waktu Pengadukan (menit)	Dosis Adsorben (gram)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
1	30	2	0,675
2		4	0,425
3		6	0,3
4		8	0,231
5	60	2	0,94
6		4	0,471
7		6	0,314
8		8	0,236
9		2	0,945
10		4	0,471

11	90	6	0,315
12		8	0,236



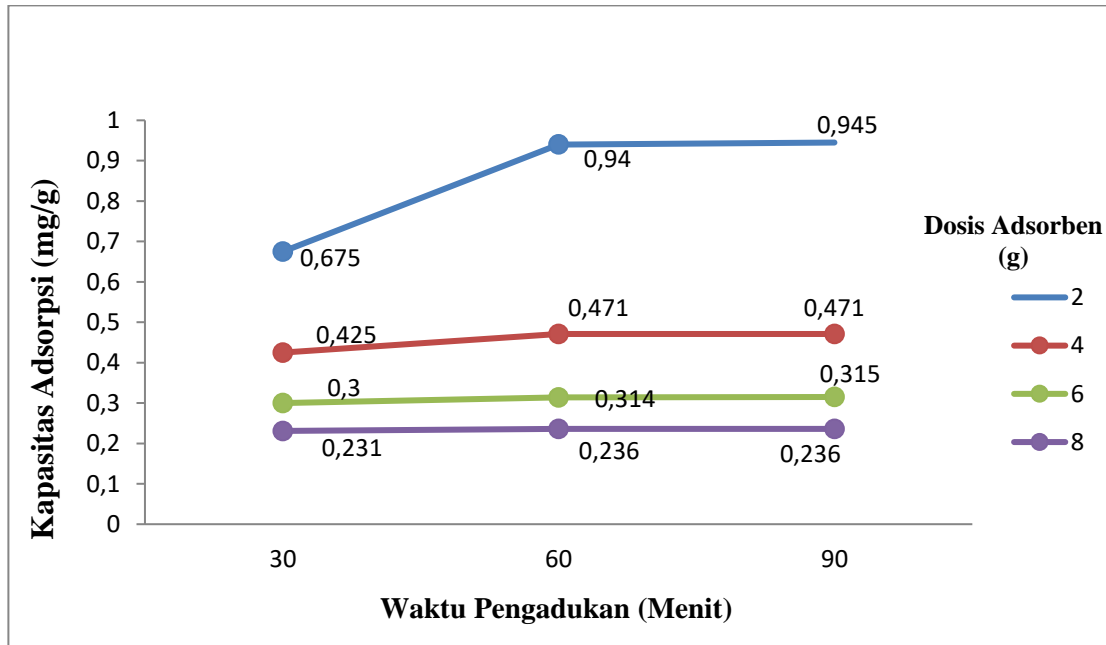
Gambar 4.6 Pengaruh Dosis Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Berdasarkan **Gambar 4.6** kapasitas adsorpsi Pb tertinggi dicapai pada dosis adsorben 2 g dengan waktu pengadukan 90 menit sebesar 0,945 mg/g dan waktu pengadukan 30 menit sebesar 0,675 mg/g dan waktu pengadukan 60 menit sebesar 0,94 mg/g. Kapasitas adsorpsi Pb terendah dicapai pada dosis adsorben 8 g dengan waktu pengadukan 30 menit sebesar 0,231 mg/g dan waktu pengadukan 60 menit sebesar 0,236 mg/g dan 90 menit sebesar 0,236 mg/g. Kapasitas adsorpsi bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan adsorben *fly ash* dalam adsorpsi logam Pb. Semakin tinggi dosis adsorben maka kapasitas adsorpsi akan semakin menurun. Penurunan kapasitas adsorpsi disebabkan oleh adanya sisi aktif adsorben yang belum semuanya berkaitan dengan adsorbat (Istighfarini dkk., 2017). Secara umum, menunjukkan jumlah bahwa maksimum zat yang dapat diikat oleh adsorben pada kondisi tertentu, seperti suhu, pH, dan waktu kontak. Faktor-faktor yang

memengaruhi kapasitas adsorpsi meliputi luas permukaan spesifik, ukuran dan volume pori, serta keberadaan gugus fungsi aktif pada permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan dan volume pori, serta semakin banyak gugus fungsi aktif, maka kapasitas adsorpsi cenderung meningkat (Febrian dkk, 2022).

Hasil ini juga diperkuat oleh hasil penelitian Siswarni dkk (2017) bahwa dengan semakin bertambahnya massa adsorben yang digunakan maka kemampuan adsorpsi semakin kecil. Hal ini disebabkan adsorbat yang digunakan terbatas yang menyebabkan massa adsorben saling tumpang tindih atau berebutan, sehingga adsorbat terbatas gerakannya untuk merebutkan permukaan. Hal ini dapat disebabkan oleh karena terjadinya tumpang tindih atau penggumpalan luas permukaan adsorben yang tersedia untuk logam Pb. Kemampuan penjerapan ion logam dipengaruhi oleh ukuran ion logam berbeda-beda, distribusi alami adsorben yang aktif, interaksi antara ion logam dan adsorben. Besarnya penyerapan logam juga dipengaruhi oleh konsentrasi awal logam dalam larutan. Semakin besar konsentrasi, semakin banyak jumlah molekul dalam larutan, sehingga interaksi antara molekul adsorbat dan adsorben semakin meningkat. Interaksi yang semakin besar ini akan meningkatkan proses penyerapan sampai pada kapasitas maksimal suatu adsorben.

Proses adsorpsi untuk menentukan waktu pengadukan yang tepat agar penyerapan molekul adsorbat dapat berlangsung optimum. Waktu pengadukan dapat dijadikan parameter kelayakan penerapan adsorben dalam industri. Menurut Asih dkk (2015) waktu kontak antara ion logam dengan adsorben sangat mempengaruhi daya serap. Semakin lama waktu kontak, semakin besar peluang ion logam untuk berinteraksi dengan permukaan adsorben. Pada awal proses adsorpsi, banyak situs aktif pada permukaan adsorben yang masih tersedia, sehingga ion logam dapat dengan mudah menempati situs tersebut.



Gambar 4.7 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Berdasarkan pada **Gambar 4.7** dalam waktu pengadukan selama 30 menit, kapasitas adsorpsi sudah mencapai sebesar 0,675 mg/g. Kapasitas adsorpsi mengalami kenaikan pada saat dilakukan pengadukan selama 60 menit dengan hasil yang diperoleh yaitu sebesar 0,94 mg/g dan 90 menit sebesar 0,945 mg/g. Menurut Nafiah (2016) waktu pengadukan memiliki pengaruh terhadap kapasitas adsorpsi, waktu pengadukan yang lebih lama memberikan kesempatan kepada adsorbat untuk terjerap oleh adsorben akan semakin besar. Adsorpsi dapat terjadi melalui 2 tahap proses, pada tahap pertama ion logam mencapai lapisan batas, kemudian menyebar ke permukaan serta masuk ke dalam pori adsorben. Tahap kedua terjadi pelepasan zat teradsorpsi secara cepat karena pori adsorben telah mengalami kejenuhan. Dua tahapan proses ini yang menyebabkan proses adsorpsi memerlukan waktu yang relatif lama. Secara umum, laju adsorpsi akan meningkat pada awal proses dan menurun secara bertahap sampai pada titik kesetimbangan. Hal ini terjadi karena masih banyak pori yang tersedia untuk tempat masuknya adsorbat pada awal proses dan semakin menurun jumlahnya seiring berjalannya waktu (Solika dkk., 2017).

Berdasarkan penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan Pb dan kapasitas adsorpsi oleh arang aktif *fly ash* dipengaruhi oleh variasi dosis adsorben dan waktu pengadukan. Peningkatan dosis adsorben dari 2 g hingga 8 g secara umum meningkatkan efisiensi adsorpsi hingga mencapai nilai maksimum sebesar 99,684% pada dosis 8 g dan waktu pengadukan 90 menit, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.4 dan 4.6. Namun, kapasitas adsorpsi menurun dengan bertambahnya dosis adsorben, karena situs aktif menjadi jenuh akibat jumlah ion Pb yang terbatas pada gambar 4.5. Waktu pengadukan yang lebih lama meningkatkan efisiensi dan kapasitas adsorpsi karena memberikan waktu interaksi yang lebih besar antara adsorben dan adsorbat, seperti terlihat pada peningkatan kapasitas adsorpsi dari 0,675 mg/g 30 menit menjadi 0,945 mg/g 90 menit pada gambar 4.7.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Penulis, maka dapat diambil kesimpulan bahwa adsorpsi logam timbal Pb oleh adsorben *fly ash* batu bara memperoleh hasil sebagai berikut :

1. Dosis dan waktu pengadukan yang terbaik pada adsorben *fly ash* batu bara dalam penurunan parameter logam Pb paling tinggi yaitu pada dosis 8 gram dengan waktu pengadukan 90 menit sebesar 0,012 mg/L dan penurunan paling rendah yaitu dosis 2 gram dengan waktu pengadukan 30 menit sebesar 1,1 mg/L.
2. Efisiensi adsorpsi paling tinggi dalam menurunkan konsentrasi Pb adalah 99,684% pada massa 8 gram dengan waktu pengadukan 90 menit dan kapasitas adsorpsi paling tinggi yaitu 0,945 mg/g pada massa 2 gram dengan waktu pengadukan 90 menit.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan jenis logam berat lainnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah *fly ash* batu bara juga mampu menurunkan logam berat lainnya.
2. Uji permukaan FTIR dan SEM perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi yang dimiliki permukaan adsorben *fly ash*.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan alternatif pemanfaatan *fly ash* batu bara sebagai adsorben penyerap logam berat pada limbah cair yang dihasilkan oleh PLTU Nagan Raya 1&2

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., Husaini. (2017). Logam Berat Sekitar Manusia. Lambung Mangkurat University Press. Skripsi Banjarmasin.
- Agusti, A. N. (2019). Analisis Logam Timbal Dan Tembaga Terhadap Daya Serap Rumput Laut *Gracilaria* Sp. Sebagai Biosorben. *Skripsi* Program Studi Kimia, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
- Ambia, D. (2021). Pemanfaatan *Fly Ash* Batu Bara Sebagai Absorben Pada Penyerapan Polutan Di Pengolahan Air Lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar. 91. *Skripsi* Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
- Angraini, N., Agustina, T. E., & Hadiah, F. (2022). Pengaruh pH dalam Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 335-343.
- Ardhiany, S. (2018). Proses Absorpsi Gas Co₂ Dalam Biogas Menggunakan Alat Absorber Tipe Packing Dengan Analisa Pengaruh Laju Alir Absorben NaOH. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 9(02), 55–64.
- Areski Febriani, Septika Amalia Umara, Euis Nursa'adah (2022). Mochammad Lutfi Firdaus Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Malachite Green Dan Violet Dye Menggunakan Metal Organic Frameworks (Fe-BDC). *Jurnal kependidikan kimia*. Desember 2022. Vol.10 , No. 2
- Apriyanti, H., & Candra, I. N. (2018). Karakterisasi Isoterm Adsorpsi Dari Ion Logam Besi (Fe) Pada Tanah Di Kota Bengkulu. 2(1), 14–19.
- Arya, Y. (2017). Studi Adsorpsi Merkuri Pada Limbah Pengolahan Emas Menggunakan Karbon Aktif Berbahan Baku Janjang Buah Pohon Aren (*Arenga Pinnata*) (Studi Kasus Pertambangan Emas Rakyat Di Kec. Penyabungan Kab. Mandailing Natal. *Skripsi* Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan.

- Astuti, I., Karina, S., & Dewiyanti, I. (2016). Analisis kandungan logam berat Pb pada tiram *Crassostrea cucullata* di pesisir Krueng Raya, Aceh Besar. Syiah Kuala University.
- Augitama. (2023). Identifikasi Sebaran Pencemaran Logam Berat Kadmium (Cd), di Perairan Pantai Sadeng, Gunung Kidul, D. I. Yogyakarta. *Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan*.
- Asih, C. L., Sudarno, & Hadiwidodo, M. (2015). Pengaruh Ukuran Media Adsorben dan Konsentrasi Aktivator Naoh terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) dan Warna Limbah Cair Industri Galvanis Menggunakan Arang Sekam Padi Chandra Lestari Asih , Sudarno , Mochtar Hadiwidodo . *In Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Diponegoro University*.
- Batu Bara, (2023). Pemanfaatan Bottom Ash Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Untuk Penyisihan Logam Timbal (Pb). *Skripsi Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh*.
- Basu, A., Dewangan, R., & Bhattacharya, P. (2022). Pengaruh dosis adsorben terhadap adsorpsi ion logam berat dalam studi batch. *Jurnal Teknik Kimia Lingkungan*, 10(5), 108345.
- Bonilla, A., Mendoza-Castillo, D. I., & Reynel-Ávila, H. E. (2017). *Adsorption processes for water treatment and purification* (Vol. 256). Springer.
- Budiastuti, P., Rahadjo, M., & Dewanti, N. A. Y. (2016). Analisis pencemaran logam berat timbal di badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 4(5), 118–119.
- Cahyani. (2017). Analisis Kadar Timbal Pada Perairan dan Sedimen Sungai lesti Kabupaten Malang Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). *Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Isalm Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang*.

- Damayanti, R. (2018). Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(3), 213-231.
- Darmansyah. (2015). Pemodelan Adsorpsi Biogas Dengan Metode Ono-Kondo Dan Langmuir Pada Material Aluminasilikat MCM41. *Skripsi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung*.
- Dewa, R. P. (2015). Analisa Kandungan Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Air Minum Dalam Kemasan Di Kota Ambon. *Majalah Biam*, 11(2), 76–82.
- Fatimah, Herdianti, S., & Octaviannus, S. (2021). Kinerja Aktivasi Dan Impregnasi Fly Ash Sebagai Absorben Fenol. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(2), 70-76.
- Fitriana, I., & Niode, N. (2017). Outlook Energi Indonesia 2017: Inisiatif Pengembangan Teknologi Energi Bersih. Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia. Jakarta.
- Hanastasia, R. L. (2019). Efisiensi Penurunan Logam Berat Pb Pada Limbah Cair Melalui Metode Kombinasi Elektrokoagulasi – Adsorpsi Menggunakan Karbonasi Biji Alpukat . *Karya Tulis Ilmiah Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*.
- Hasmunir, H. (2016). Analisis Kadar Timbal (Pb) Pada Air Krueng Aceh. *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 1(1).
- Heriyani, O., & Mugisidi, D. (2016). Pengaruh karbon aktif dan zeolit pada pH hasil filtrasi air banjir. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Kualitas Dan Aplikasi Fakultas Teknik UHAMKA, January 2016*, 199–202, 1, M199--M202.
- Husin, A. (2022). Penentuan kadar logam timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada ikan belanak dan kepiting rajungan diperairan Benoa Kabupaten Badung Secara spektroskopi serapan atom (SSA). *Skripsi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*.

- Irianti, T. T., Kuswandi, Nuranto, S., & Budiyantri, A. (2017) Logam Berat Dan Kesehatan', Grafika Indah ISBN: 979820492-1, pp. 1–131.
- Ismiyati, M. (2020). Pemanfaatan sabut kelapa dan tempurung kelapa sebagai bioadsorben untuk penurunan kadar besi (Fe) dengan sistem batch. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Istighfarini, S. A. E., Daud, S., & Hs, E. (2017). Pengaruh massa dan ukuran partikel adsorben sabut kelapa terhadap efisiensi penyisihan Fe pada air gambut. Riau University. *JOM FTEKNIK*, 1(2004), 1-8.
- Jawad, A. H., Mehdi, Z. S., Ishak, M. A. M., & Ismail, K. (2018). *Large surface area activated carbon from low-rank coal via microwave-assisted KOH activation for methylene blue adsorption*. Desalin Water Treat, 110, 239–249.
- Liu, L., Liu, J., Zeng, Y., Tan, S. J., Do, D. D., & Nicholson, D. (2019). Formaldehyde adsorption in carbon nanopores--New insights from molecular simulation. *Chemical Engineering Journal*, 370, 866–874.
- Maghfirana, C. A. (2019). Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong Terhadap Logam Timbal (Pb) Menggunakan Sistem kontinyu
- Mahardhika, R., Riyadi, P. H., & Fahmi, A. S. (2016). Pengaruh lama waktu perendaman kerang hijau (*Perna viridis*) menggunakan buah tomat (*Lycopersicon esculentum*) terhadap penurunan kadar logam timbal (Pb). *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 5(4), 43–50.
- Myllymäki, P., Lahti, R., Romar, H., & Lassi, U. (2018). Removal of total organic carbon from peat solution by hybrid method—Electrocoagulation combined with adsorption. *Journal of water process engineering*, 24, 56–62.
- Nafiah, R. (2016). Kinetika adsorpsi Pb (II) dengan adsorben arang aktif dari sabut siwalan. *Jurnal farmasi Sains dan praktis*, 1(2), 28–35.
- Obike, A. I., Igwe, J. C., Emeruwa, C. N., & Uwakwe, K. J. (2018). Equilibrium and kinetic studies of Cu (II), Cd (II), Pb (II) and Fe (II) adsorption from aqueous solution using cocoa (*Theobroma cacao*) pod husk. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 22(2), 182–190.

- Prabowo, Z. N., Rezagama, A., & Hadiwidodo, M. (2017). Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi dengan kombinasi biokoagulan sodium Alginat–koagulan Al_2SO_4 dan *advanced oxidation Processes* (AOPs) dengan fenton (Fe/H_2O_2) (*Doctoral dissertation, Diponegoro University*)
- Priatna DE, Purnomo T dan Kuswanti N. (2016). Kadar logam berat timbal (Pb) pada air dan ikan bader (*Barbonymus gonionotus* di sungai Brantas wilayah Mojokerto. *LenteraBio; Jurnal*. Vol 5 (1): 48-53.
- Putri, R. D., & Hadiyanto. (2017). Pemanfaatan Fly Ash sebagai Adsorben untuk Penurunan Logam Berat dalam Limbah Cair Industri. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(1), 45–52.
- Raditya, B. (2016). Pemanfaatan Kulit Durian Sebagai Adsorben Logam Berat Pb Pada Limbah Cair Elektroplating. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(1), 10–18.
- Raji, Z., Karim, A., Karam, A., & Khalloufi, S. (2023). Adsorpsi Logam Berat: Mekanisme, Kinetika, dan Aplikasi Berbagai Adsorben dalam Remediasi Air Limbah—Sebuah Tinjauan. *Waste*, 1(3), 775–805.
- Rizki, A. D. (2021). Analisis Pengaruh Massa Lempung Teraktivasi Asam Sebagai Adsorben Dalam Mengadsorpsi Ion Logam Pb^{2+} . *Skripsi Institut Teknologi Kalimantan*.
- Selpiani L dan Rosalina D. (2015). Konsentrasi Logam Berat (Pb, Cu) Pada Kerang Darah (*Anadara Granosa*) di Kawasan Pantai Keranji Bangka Tengah dan Pantai Teluk Kelabat Bangka Barat. *Oseatek. Jurnal*. 9(01): 21-34.
- Setiawati, M. (2018). *Fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton. *Prosiding Semnastek. Jurnal* No.Vol :17 Hal 1-8.
- Siddiqui, S. I., Fatima, B., Tara, N., Rathi, G., & Chaudhry, S. A. (2019). Recent advances in remediation of synthetic dyes from wastewaters using sustainable and low-cost adsorbents. *The impact and prospects of green chemistry for textile technology*, 471–507.

- Siswarni, M. Z., Ranita, L. I., & Safitri, D. (2017). Pembuatan Biosorben Dari Biji Pepaya (*Carica Papaya L*) Untuk Penyerapan zat Warna. *J. Tek. Kim. USU*, 6(2), 7–13.
- Sofyan, A. (2019). Sistem Monitoring PH dan Suhu Air Secara Realtime Berbasis Android. *STMIK AKAKOM YOGYAKARTA*.
- Sopiah, N., Prasetyo, D., & Aviantara, D. B. (2017). Pengaruh Aktivasi Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Adsorpsi Kadmium Terlarut. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 8(2), 55– 66.
- Sugeng, B., & Sulardi, S. (2019). Uji keasaman air dengan alat sensor pH di STT Migas Balikpapan. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 2(1), 65–72.
- Susanti., Rinidar., & Sugito. (2018). Study Of Knowledge, Attitude And Action Of Buffalo Ranchers In The Villages Around Nagan Raya Power Plant On The Impact Of Fly Ash Exposure, *Jurnal No Vol* : 14.
- Sutrisno, A., Prabowo, R., & Sari, D. K. (2018). Pengaruh Aktivasi Fisik terhadap Karakteristik Adsorben dari Limbah Fly Ash. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 123–130.
- Wakkel, M., Khiari, B., & Zagrouba, F. (2019). Textile wastewater treatment by agro-industrial waste: equilibrium modelling, thermodynamics and mass transfer mechanisms of cationic dyes adsorption onto low-cost lignocellulosic adsorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 96, 439–452.
- Wen, X., Yan, C., Sun, N., Luo, T., Zhou, S., & Luo, W. (2018). A biomass cationic adsorbent prepared from corn stalk: low-cost material and high adsorption capacity. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(4), 1642–1651.
- Xie, R., Jin, Y., Chen, Y., & Jiang, W. (2017). The importance of surface functional groups in the adsorption of copper onto walnut shell derived activated carbon. *Water Science and Technology*, 76(11), 3022–3034.

LAMPIRAN A

Hasil Data Pengamatan dan Olahan

Lampiran A.1. Karakteristik Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

1.1 Kadar Air Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

Proses analisis kadar air adsorben *fly ash* dilakukan pengovenan adsorben *fly ash* dengan dosis awal 2 g pada suhu 100 °C selama 120 menit. Kemudian adsorben *fly ash* ditimbang kembali dan didapatkan dosis akhir yang telah konstan yaitu sebesar 1,78 g. Maka kadar air dari adsorben *fly ash* adalah :

$$\begin{aligned}\text{Kadar Air (\%)} &= \frac{\text{dosis awal} - \text{dosis akhir} \times 100 \%}{\text{dosis awal}} \\ &= \frac{(2 - 1,78) \text{ g} \times 100 \%}{2 \text{ g}} \\ &= 11 \%\end{aligned}$$

1.2 Kadar Abu Adsorben *Fly Ash* Batu Bara

Proses analisis kadar abu adsorben *fly ash* dilakukan dengan *furnace* adsorben *fly ash* dengan dosis awal 2 g pada suhu 550 °C selama 90 menit. Kemudian adsorben *fly ash* ditimbang kembali dan didapatkan dosis akhir yang telah konstan yaitu sebesar 0,14 g. Maka kadar abu dari adsorben *fly ash* adalah :

$$\begin{aligned}\text{Kadar Abu (\%)} &= \frac{\text{dosis akhir} \times 100 \%}{\text{dosis awal}} \\ &= \frac{(0,14) \text{ g} \times 100 \%}{2 \text{ g}} \\ &= 7 \%\end{aligned}$$

Lampiran A.2. Analisis Data Hasil Adsorpsi

2.1 Perhitungan % Teradsorpsi Larutan Timbal

Cara untuk mengetahui % teradsorpsi dari larutan timbal adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\% \text{ teradsorpsi} &= \frac{C_{\text{teradsorpsi}} \times 100 \%}{C_{\text{awal}}} \\ &= \frac{2,7 \text{ mg/L} \times 100 \%}{3,8 \text{ mg/L}} \\ &= 71,052 \%\end{aligned}$$

Perhitungan C_{sisal} dan % teradsorpsi untuk seluruh proses adsorpsi dapat dilihat pada **Tabel A.1.**

2.2 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Larutan Timbal

Kapasitas adsorpsi dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}q &= \frac{C_{\text{teradsorpsi}} \times \text{volume}}{\text{dosis}} \\ &= \frac{2,7 \text{ mg/L} \times 0,5}{2 \text{ g}} \\ &= 0,675 \text{ mg/g}\end{aligned}$$

Perhitungan kapasitas adsorpsi timbal untuk seluruh proses adsorpsi dapat dilihat pada **Tabel A.2.**

Tabel A.1 Data Efisiensi Adsorpsi

No	Waktu Pengadukan (menit)	Dosis Adsorben (gram)	C _{awal} (mg/L)	C _{sis} (mg/L)	C _{teradsorpsi} (mg/L)	% Adsorpsi
1	30	2	3,8	1,1	2,7	71,052
2		4		0,4	3,4	89,473
3		6		0,2	3,6	94,734
4		8		0,1	3,7	97,369
5	60	2	3,8	0,04	3,76	98,947
6		4		0,03	3,77	99,210
7		6		0,03	3,77	99,210
8		8		0,02	3,78	99,473
9	90	2	3,8	0,02	3,78	99,473
10		4		0,03	3,77	99,210
11		6		0,014	3,786	99,631
12		8		0,012	3,788	99,684

Tabel A.2 Data Kapasitas Adsorpsi

No	Waktu Pengadukan (menit)	Dosis Adsorben (gram)	C _{awal} (mg/L)	C _{sis} (mg/L)	C _{teradsorpsi} (mg/L)	q (mg/g)
1	30	2	3,8	1,1	2,7	0,675
2		4		0,4	3,4	0,425
3		6		0,2	3,6	0,3
4		8		0,1	3,7	0,231
5		2		0,04	3,76	0,94

No	Waktu Pengadukan (menit)	Dosis Adsorben (gram)	C _{awal} (mg/L)	C _{sis} (mg/L)	C _{teradsorpsi} (mg/L)	q (mg/g)
6	60	4	3,8	0,03	3,77	0,471
7		6		0,03	3,77	0,314
8		8		0,02	3,78	0,236
9	90	2	3,8	0,02	3,78	0,945
10		4		0,03	3,77	0,471
11		6		0,014	3,786	0,315
12		8		0,012	3,788	0,236

LAMPIRAN B

Hasil Pengujian Kandungan Timbal (Pb)

Lampiran B.1. Surat Hasil Pengujian Kandungan Timbal (Pb) Dari BSPJI

 Kementerian Perindustrian REPUBLIK INDONESIA		BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BANDA ACEH LABORATORIUM PENGUJI Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0651) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642 E-mail: bspjaceh@gmail.com Website: http://bspjaceh.kemenperin.go.id		 KAN Laboratorium Penguji LP-800-1DN										
LAPORAN HASIL UJI <i>Report of Analysis</i>														
Tanggal Penerbitan <i>Date of issue</i>	: 24 Februari 2025	Nomor Laporan <i>Report Number</i>	: 345/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025											
Kepada <i>To</i>	: Jasman Bako di - Banda Aceh	Nomor Analisis <i>Analysis Number</i>	: 25 - 181 - LC											
Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa : <i>The undersigned certifies</i>														
Nama Contoh <i>Sample Name (s)</i>	: Larutan Pb	Nomor BAPC <i>Sample Report Number</i>	: 78/Insd/L/2/2025											
Status Penerimaan Contoh <i>Sample Admission Status</i>	: Diantar	Jenis Pengujian <i>Type of Analysis</i>	: Kimia dan Fisika											
Kode Contoh <i>Sample Code</i>	: Larutan PB Sebelum Perlakuan 500 ML	Lokasi <i>Location</i>	: -											
Kondisi Contoh <i>Sample Description</i>	: dikemas dalam botol plastik	Tanggal Penerimaan <i>Date of Receipt</i>	: 06 Februari 2025											
Tanggal Sampling <i>Date of Sampling</i>	: -	Tanggal Analisis <i>Date of Analysis</i>	: 06 Februari 2025											
Hasil Analisis <i>Analysis Results</i>														
<table border="1"><thead><tr><th>NO</th><th>PARAMETER UJI</th><th>METODA UJI</th><th>SATUAN</th><th>HASIL UJI</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>Timbal (Pb)</td><td>IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)</td><td>mg/L</td><td>3,8</td></tr></tbody></table> <p><i>Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji</i></p>					NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI	1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	3,8
NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI										
1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	3,8										
 BSPJI BANDA ACEH <i>Manajer Teknis,</i>  Syarifuddin, S.T., MT NIP. 19760903 200502 1 001														
F. 7.08.01.02		Terbit/Revisi: 5/0												

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue

Nomor Laporan : 352/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number

Kepada : Jasman Bako
To di - Banda Aceh

Nomor Analisis : 25 - 273 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)

Nomor BAPC : 107/Insd/L/2/2025
Sample Report Number

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis

Kode Contoh : 4 gram 30 menit
Sample Code

Lokasi : -
Location

Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description

Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

Hasil Analisis :
Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Tlmbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,4

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji

BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,

Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue
Kepada : Jasman Bako
To : di - Banda Aceh
Nomor Laporan : 353/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number
Nomor Analisis : 25 - 274 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)
Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status
Kode Contoh : 6 gram 30 menit
Sample Code
Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description
Tanggal Sampling : -
Date of Sampling
Hasil Analisis :
Analysis Results
Nomor BAPC : 107/Insd/L/2/2025
Sample Report Number
Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis
Lokasi : -
Location
Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt
Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Tlmbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,2

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji



BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,
Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above

Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue
Kepada : Jasman Bako
To : di - Banda Aceh
Nomor Laporan : 354/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number
Nomor Analisis : 25 - 275 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)
Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status
Kode Contoh : 8 gram 30 menit
Sample Code
Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description
Tanggal Sampling : -
Date of Sampling
Hasil Analisis :
Analysis Results
Nomor BAPC : 107/Insd/LI/2/2025
Sample Report Number
Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis
Lokasi : -
Location
Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt
Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASL UJI
1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,1

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji

 **BSPJI BANDA ACEH**
Manajer Teknis,

Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue

Nomor Laporan : 355/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number

Kepada : Jasman Bako
To di - Banda Aceh

Nomor Analisis : 25 - 276 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)

Nomor BAPC : 107/lnsd/L/2/2025
Sample Report Number

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis

Kode Contoh : 2 gram 60 menit
Sample Code

Lokasi : -
Location

Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description

Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

Hasil Analisis :
Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,04

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji

BSPJI BANDA ACEH
Manager Teknis,

Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025 Nomor Laporan : 356/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Date of issue Report Number
Kepada : Jasman Bako Nomor Analisis : 25 - 277 - LC
To di - Banda Aceh Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb Nomor BAPC : 107/Insd/L/2/2025
Sample Name (s) Sample Report Number
Status Penerimaan Contoh : Diantar Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Sample Admission Status Type of Analysis
Kode Contoh : 4 gram 60 menit Lokasi : -
Sampel Code Location
Kondisi Contoh : dikemas dalam botol Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Sample Description Date of Receipt
Tanggal Sampling : - Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Sampling Date of Analysis
Hasil Analisis :
Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASL UJI
1	Tlmbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,03

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji


BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,
Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue
Kepada : Jasman Bako
To : di - Banda Aceh
Nomor Laporan : 357/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number
Nomor Analisis : 25 - 278 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)
Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status
Kode Contoh : 6 gram 60 menit
Sample Code
Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description
Tanggal Sampling : -
Date of Sampling
Hasil Analisis :
Analysis Results
Nomor BAPC : 107/Insd/L/2/2025
Sample Report Number
Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis
Lokasi : -
Location
Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt
Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,03

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji


BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,

Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue

Nomor Laporan : 358/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number

Kepada : Jasman Bako
To **di - Banda Aceh**

Nomor Analisis : 25 - 279 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Kode Contoh : 8 gram 60 menit
Sample Code

Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Hasil Analisis :
Analysis Results

Nomor BAPC : 107/lnsd/LI/2/2025
Sample Report Number

Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis

Lokasi : -
Location

Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt

Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,02

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji



BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,

Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above

Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue

Nomor Laporan : 359/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number

Kepada : Jasman Bako
To : di - Banda Aceh

Nomor Analisis : 25 - 280 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)

Nomor BAPC : 107/Insd/LI/2/2025
Sample Report Number

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis

Kode Contoh : 2 gram 90 menit
Sample Code

Lokasi : -
Location

Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description

Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

Hasil Analisis :
Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,02

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji


BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,

Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas

This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above

Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium

This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025 Nomor Laporan : 360/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Date of issue Report Number
Kepada : Jasman Bako Nomor Analisis : 25 - 281 - LC
To di - Banda Aceh Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb Nomor BAPC : 107/Insd/L/2/2025
Sample Name (s) Sample Report Number
Status Penerimaan Contoh : Diantar Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Sample Admission Status Type of Analysis
Kode Contoh : 4 gram 90 menit Lokasi : -
Sample Code Location
Kondisi Contoh : dikemas dalam botol Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Sample Description Date of Receipt
Tanggal Sampling : - Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Sampling Date of Analysis
Hasil Analisis :
Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Timbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,03

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji



BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,
Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue

Nomor Laporan : 361/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number

Kepada : Jasman Bako
To : di - Banda Aceh

Nomor Analisis : 25 - 282 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)

Nomor BAPC : 107/lnsd/L/2/2025
Sample Report Number

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis

Kode Contoh : 6 gram 90 menit
Sample Code

Lokasi : -
Location

Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description

Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

Hasil Analisis :
Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Tlmbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,014

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji


BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,
Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 24 Februari 2025
Date of issue

Nomor Laporan : 362/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2025
Report Number

Kepada : Jasman Bako
To : di - Banda Aceh

Nomor Analisis : 25 - 283 - LC
Analysis Number

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Larutan Pb
Sample Name (s)

Nomor BAPC : 107/Insd/LJ/2/2025
Sample Report Number

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Jenis Pengujian : Kimia dan Fisika
Type of Analysis

Kode Contoh : 8 gram 90 menit
Sample Code

Lokasi : -
Location

Kondisi Contoh : dikemas dalam botol plastik
Sample Description

Tanggal Penerimaan : 18 Februari 2025
Date of Receipt

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Tanggal Analisis : 18 Februari 2025
Date of Analysis

Hasil Analisis :
Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODA UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Tlmbal (Pb)	IK.5.04.01.35 (AAS-HVG)	mg/L	0,012

Keterangan : *) Batas Pembacaan Metode Uji

BSPJI BANDA ACEH
Manajer Teknis,

Syarifuddin, S.T., MT
NIP. 19760903 200502 1 001

F. 7.08.01.02


Terbit/Revisi: 5/0

Laporan Hasil Uji ini hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
This Report of Analysis applies only for sample (s) specified above
Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya, tanpa persetujuan tertulis dari laboratorium
This report shall not be reproduced, except in full, without the written permission of laboratory


LAMPIRAN C

Surat Administrasi

Lampiran C.1. Surat Izin Pemakaian Laboratorium Teknik Kimia & Lingkungan

	<p>KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH FAKULTAS TEKNIK Jalan Tgk. Imum Lueng Bata, Batoh, Banda Aceh, Kode Pos 23245 Email : ft@serambimekkah.ac.id / Website : www.ft.serambimekkah.ac.id</p>
Nomor	: 001/FT-USM/MI/2025
Lampiran	: -
Perihal	: Izin Pemakaian Lab
<p>Kepada Yth, Kepala Laboratorium Teknik Kimia & Teknik Lingkungan di</p> <p>Tempat</p> <p>Dengan Hormat,</p> <p>Wakil Dekan I, Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh dengan ini menerangkan bahwa :</p> <p>Nama : Jasman Bako NPM : 2114020004 Program Studi : Teknik Lingkungan</p> <p>Adalah mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh akan mengadakan pengumpulan data penelitian yang berjudul :</p> <p><i>“Pemanfaatan Fly Ash Batu Bara Dari sebagai Adsorben Untuk Mengolah Logam Berat Timah (Pb) ”</i></p> <p>Penelitian semata-mata bersifat untuk memenuhi kewajiban penyusunan tugas akhir dalam rangka menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah.</p> <p>Demikianlah harapan kami, atas bantuan dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.</p> <p style="text-align: right;">Banda Aceh, 4 Januari 2025 Wakil Dekan Bidang Akademik,  <u>Maulinda, S.Si, M.Si</u> IDN. 0112028001</p> <p style="text-align: center;"></p>	

**Lampiran C.2. Surat Izin Pengujian Sampel di Balai Standardisasi dan Pelayanan
Jasa Industri**

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI	
	UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH	
	FAKULTAS TEKNIK	
	Jalan Tgk. Imum Lueng Bata, Batoh, Banda Aceh, Kode Pos 23245 Email : ft@serambimekkah.ac.id / Website : www.ft.serambimekkah.ac.id	

Nomor	: 014/FT-USM/M/II/2025
Lampiran	: -
Perihal	: Izin Pengujian Sampel

Kepada Yth,
Kepala Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri
di
Tempat

Dengan Hormat,

Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh dengan ini menerangkan bahwa :

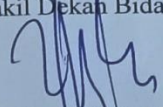
Nama	: Jasman Bako
NPM	: 2114020004
Program Studi	: Teknik Lingkungan

Adalah mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh akan mengadakan pengumpulan data penelitian yang berjudul :

“Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Absorben Untuk Mengolah Logam Berat PB”

Penelitian semata-mata bersifat untuk memenuhi kewajiban penyusunan tugas akhir dalam rangka menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah.


Demikianlah harapan kami, atas bantuan dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Banda Aceh, 4 Februari 2025
Wakil Dekan Bidang Akademik,

Maulinda, S.Si., M.Si.
NIDN. 0112028001

**Lampiran C.3. Surat Izin Pengambilan Sampel di PT. PLN Nusantara Power UPK
Nagan Raya 1&2**

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
	UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH
	FAKULTAS TEKNIK
	Jalan Tgk. Imum Lueng Bata, Batoh, Banda Aceh, Kode Pos 23245
	Email : ft@serambimekkah.ac.id / Website : www.ft.serambimekkah.ac.id
<hr/>	
Nomor	: 382/FT-USM/M/XII/2024
Lampiran	: -
Perihal	: Izin Pengambilan Sampel
Kepada Yth, Direktur PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya di	
Tempat	
Dengan Hormat,	
Wakil Dekan I, Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh dengan ini menerangkan bahwa :	
Nama	: Jasman Bako
NPM	: 2114020004
Program Studi	: Teknik Lingkungan
Adalah mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah Banda Aceh akan mengadakan pengumpulan data penelitian yang berjudul :	
<i>“Pemanfaatan Fly Ash Batu Bara Dari sebagai Adsorben Untuk Mengolah Logam Berat Timah (Pb) ”</i>	
Penelitian semata-mata bersifat untuk memenuhi kewajiban penyusunan tugas akhir dalam rangka menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah.	
Demikianlah harapan kami, atas bantuan dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.	
<div style="text-align: right;"> Banda Aceh, 16 Desember 2024 Wakil Dekan Bidang Akademik, <u>Maulinda S.Si., M.Si.</u> NPM/0112028001</div> <div style="text-align: center;"></div>	

**Lampiran C.4. Surat Izin Keluar Barang FABA dari PT. PLN Nusantara Power
UPK Nagan Raya 1&2**

	PT PLN NUSANTARA POWER UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN NAGAN RAYA	No. Dok : FIKKAM-UPKNGR-KAM-05-01
		Revisi : 00
		Tanggal : 07 OKTOBER 2022
		Halaman : 1 dari 1
FORMULIR IZIN KELUAR BARANG		

NO. 396 /K3 & Keamanan/PNPNGR/2024

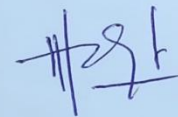
Dijijinkan Kepada

Nama : UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH
Pekerjaan : Penelitian sampel Faba
Tujuan : Banda Aceh
Kendaraan yang Membawa No. Pol :

No	Jenis Barang	Jumlah Barang	Satuan	Keterangan	Paraf Security
1	faba	3	karung		

Nagan Raya ,25 Desember 2024

Mengetahui,
Team Leader Lingkungan



Husnul Hidayat

Menyetujui,
Team Leader K3 & Keamanan


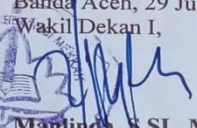

a.n

Ricky Novrizal

Pembawa,

.....

Lampiran C.5. SK Pembimbing Tugas Akhir

	
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH FAKULTAS TEKNIK Jalan Tgk. Imum Lueng Bata, Batoh, Banda Aceh, Kode Pos 23245 Website : www.serambimekkah.ac.id , Surel : akademik@serambimekkah.ac.id	
SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH Nomor: 070 /FT-USM/SK/VII/2024 Tentang	
PENUNJUKAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH	
DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SERAMBI MEKKAH	
Menimbang	: 1. Bahwa untuk kelancaran penulisan Tugas Akhir mahasiswa Fakultas Teknik Tahun Akademik 2023/2024 perlu adanya program bimbingan yang kontinyu dan intensif kepada mahasiswa sebagai peserta didik. 2. Bahwa untuk keperluan tersebut, perlu ditunjuk dosen pembimbing Tugas Akhir dengan suatu surat keputusan
Mengingat	: 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional; 2. Undang-undang Nomor 14 tahun 2005 tentang Guru dan Dosen; 3. Peraturan Pemerintah RI No.17 Tahun 2010 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan; 4. Peraturan Pemerintah RI No.66 Tahun 2010 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No.17 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan 5. Permenristek-Dikti No 44 Tahun 2015 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi; 6. Pedoman Akademik Universitas Serambi Mekkah Tahun 2015
MEMUTUSKAN	
Menetapkan Pertama	: Menetapkan sdr/I : Dr.Ir. ELVITRIANA, M.Eng Ir. VERA VIENA, ST.,MT Sebagai Pembimbing I Sebagai Pembimbing II
Untuk membimbing Tugas Akhir mahasiswa	
	Nama : JASMAN BAKO NPM : 2114020004 Program Studi : TEKNIK LINGKUNGAN
Kedua	: Judul Skripsi : PEMANFAATAN FLY ASH SEBAGAI ABSORBEN UNTUK MENGOLAH LOGAM BERAT PB
Ketiga	: Dengan ketentuan : 1. Bimbingan dilaksanakan dengan kontinyu dan bertanggung jawab serta harus diselesaikan selambat-lambatnya 1 (satu) tahun sejak keputusan ini dikeluarkan; 2. Apabila ketentuan poin 1 terlewati disebabkan oleh kelalaian mahasiswa, maka dikenakan sanksi administratif; 3. Apabila ketentuan poin 1 terlewati disebabkan oleh kelalaian pembimbing, maka akan diganti dosen pembimbing yang baru;
Keempat	: Surat Keputusan ini diberikan kepada masing-masing yang bersangkutan untuk diketahui dan dilaksanakan sebagaimana mestinya.
Kelima	: Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dan apabila dikemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapannya atau memerlukan penyesuaian maka akan diadakan perbaikan dan perubahan sebagaimana mestinya
Banda Aceh, 29 Juli 2024 Wakil Dekan I,  Maulinda, S.SI, M.SI NIDN.0112028001	
	
Tembusan : 1. Ketua Prodi 2. Mahasiswa bersangkutan	

LAMPIRAN D
Dokumentasi Penelitian



Lampiran D.1. pencucian *fly ash* dengan aquades



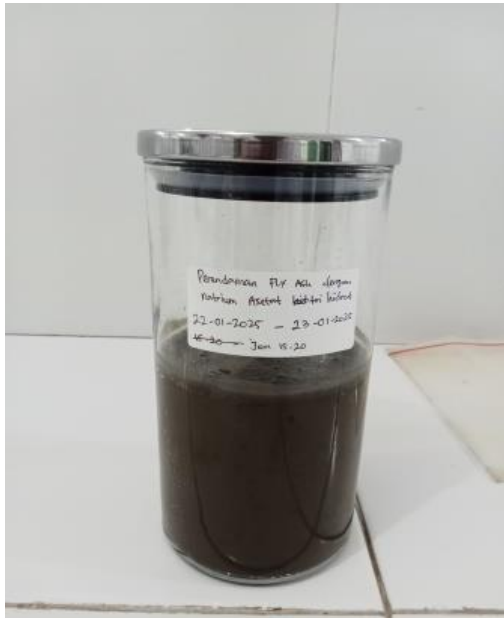
Lampiran D.2. pengeringan *fly ash* menggunakan oven



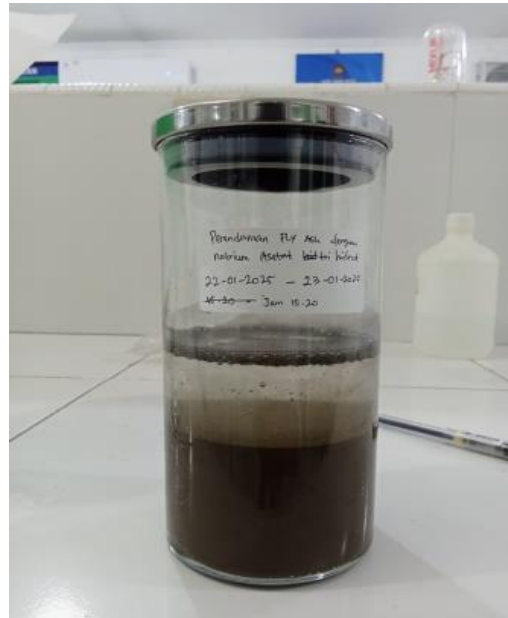
Lampiran D.3. pengayakan *fly ash* 100 mesh



Lampiran D.4. pembuatan larutan natrium asetat trihidrat



Lampiran D.5. perendaman larutan dengan *fly ash* batu bara selama 24 jam



Lampiran D.6. hasil setelah adsorben proses aktivasi 24 jam



Lampiran D.7. Pemisahan adsorben *fly ash* dari larutan aktivator natrium asetat



Lampiran D.8. pembuatan larutan timbal



Lampiran D.9. proses pengadukan



Lampiran D.10. Pengujian pH setelah adsorpsi

LAMPIRAN E

Biodata Penulis

Lampiran E.1. Biodata Penulis



Nama	: Jasman Bako
Tempat, Tanggal Lahir	: Teluk Rumbia, 24 Februari 2003
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Agama	: Islam
Alamat	: Teluk Rumbia, Singkil, Aceh Singkil
Email	: pematanglaeno1@gmail.com
No. Hp	: 081398877876

Jasman Bako merupakan putra daerah Aceh Singkil yang lahir di **Teluk Rumbia** pada tanggal 24 Februari 2003. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri Teluk Rumbia, Singkil, kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang menengah di **SMPN 1 ATAP Rantau Gedang**, dan pendidikan selanjutnya di **MAN 1 Aceh Singkil**.

Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan perkuliahan, dan tingkat himpunan Khususnya di **Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL)**, baik sebagai panitia dalam berbagai kegiatan akademik dan sosial, maupun sebagai pengurus organisasi.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST), yang dimana penulis mengambil judul : **“PEMANFAATAN *FLY ASH* BATU BARA SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENGOLAH LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)”**. Harapannya, hasil penelitian dan ilmu yang telah diperoleh selama kuliah dapat memberikan manfaat nyata bagi masyarakat dan lingkungan, khususnya di daerah Aceh Singkil.