

**KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI BIJI ASAM JAWA
(*Tamarindus indica*) TERMODIFIKASI ASAM SITRAT
SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENYERAPAN LOGAM
BERAT TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

KRISMAWATI

NIM 190704011

**Mahasiswa Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2023 M / 1445 H**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI
**KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI BIJI ASAM JAWA
(*Tamarindus indica*) TERMODIFIKASI ASAM SITRAT
SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENYERAPAN LOGAM
BERAT TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Ilmu/Prodi Kimia

Oleh:

**KRISMAWATI
NIM 190704011**

**Mahasiswa Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry**

Disetujui Oleh:

Pembimbing I

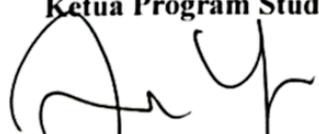

Reni Silvia Nasution, M.Si
NIND. 2022028901

Pembimbing II


Muammar Yulian, M.Si
NIND. 2030118401

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia


Muammar Yulian, M.Si
NIND. 2030118401

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
**KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI BIJI ASAM JAWA
(*Tamarindus indica*) TERMODIFIKASI ASAM SITRAT SEBAGAI
ADSORBEN UNTUK PENYERAPAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)**

SKRIPSI

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Kimia

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 26 Juli 2023
08 Muharram 1445
di Darussalam, Banda Aceh

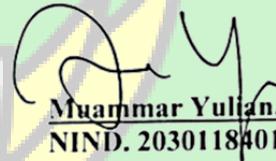
Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi:

Ketua



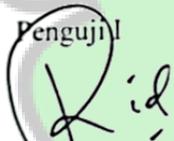
Reni Silvia Nasution, M.Si
NIND. 2022028901

Sekretaris



Muammar Yulfan, M.Si
NIND. 2030118401

Penguji I



Muhammad Ridwan Harahap, M.Si
NIND. 2027118603

Penguji II



Muslem, M.Sc
NIND. 2006069004

Mengetahui:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh,


Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIND. 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Krismawati
NIM : 190704011
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Termodifikasi Asam Sitrat sebagai Adsorben untuk Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb).

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

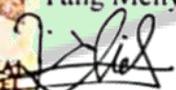
1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebut sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan karya ini dan mampu mempertanggungjawabkan atas karya ini

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya dan telah melalui pembuktian dan dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenakan sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di fakultas sains dan teknologi uin ar-raniry banda aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 04 Agustus 2023

Yang Menyatakan


Krismawati



ABSTRAK

Nama : Krismawati
NIM : 190704011
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Termodifikasi Asam Sitrat sebagai Adsorben untuk Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb).
Tanggal Sidang : 26 Juli 2023
Jumlah Halaman : 74
Pembimbing I : Reni Silvia Nasution, M.Si
Pembimbing II : Muammar Yulian, M.Si
Kata Kunci : Karbon Aktif, Logam Pb, Biji Asam Jawa, Adsorpsi.

Karbon aktif yang dimodifikasi asam sitrat memiliki struktur berpori dan gugus fungsional di permukaannya yang mampu menyerap logam (Pb) melalui proses adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mutu karbon aktif biji asam jawa yang telah dimodifikasi dengan asam sitrat dan melihat kemampuannya dalam menyerap logam Pb. Penelitian ini menggunakan metode analisis kualitatif dan kuantitatif. Karbon aktif diperoleh dari proses karbonisasi pada suhu 280°C yang diaktivasi asam fosfat 2 N dan dimodifikasi variasi konsentrasi asam sitrat 0,4 M 0,6 M dan 0,8 M. Karakteristik karbon aktif berdasarkan SNI 06 –3730-1995 yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat volatil, kadar karbon dan penyerapan iodin. Identifikasi gugus fungsi pada karbon menggunakan FTIR, uji daya serap karbon aktif terhadap logam timbal (Pb) menggunakan AAS dan uji morfologi permukaan pori karbon aktif menggunakan SEM. Hasil yang diperoleh bahwa kualitas karbon aktif telah memenuhi SNI kecuali kadar zat volatil dan kadar karbon dengan nilai kadar air 3-4 %, kadar abu 1-2%, kadar volatil sebesar 52-53%, kadar karbon sebesar 42-43% dan kadar penyerapan iodin 939,06-951,75 mg/g. Hasil FTIR diperoleh gugus fungsi O-H, C-H, C=O, C=C dan C-O, uji daya serap karbon aktif setelah dimodifikasi asam sitrat dengan konsentrasi 0,4 M, 0,6 M dan 0,8 M diperoleh hasil berturut-turut sebesar 38%, 49% dan 40 %, dan hasil analisa SEM menunjukkan morfologi pori karbon aktif biji asam jawa termodifikasi asam sitrat 0,6 M memiliki rongga pori yang lebih banyak. Dapat disimpulkan penyerapan logam terbaik oleh karbon aktif yang termodifikasi asam sitrat 0,6 M dengan persentase penyerapan sebanyak 49 %.

ABSTRACT

Name : Krismawati
NIM : 190704011
Study Program : Chemistry
Faculty : Science and Technology
Thesis Title : *Characterization of Activated Carbon From Tamarind Seeds (Tamarindus Indica) Modified with Citric Acid as Adsorbent for Heavy Metal Lead (Pb) Sorption.*
Date Of Session : 26 Juli 2023
Number of Page : 74
Advisor I : Reni Silvia Nasution, M.Si
Supervisor II : Muammar Yulian, M.Si
Keywords : *Activated Carbon, Pb Metal, Tamarind Seed, Adsorption.*

Activated carbon modified by citric acid has a porous structure and functional groups on its surface that are capable of adsorbing metals (Pb) through an adsorption process. This study aims to determine the quality of tamarind seed activated carbon that has been modified with citric acid and to see its ability to absorb Pb metal. This study uses qualitative and quantitative analysis methods. Activated carbon is obtained from a carbonization process at 280 °C that is activated by 2 N phosphoric acid and modified by varying the concentration of citric acid to 0,4 M, 0,6 M, and 0,8 M. Characteristics of activated carbon based on SNI 06-3730-1995, which include water content, ash content, volatile matter content, carbon content, and iodine uptake. Identification of functional groups on carbon using FTIR, testing of the absorption capacity of activated carbon on metal lead (Pb) using AAS, and testing the pore surface morphology of activated carbon using SEM. The results obtained showed that the quality of activated carbon complied with SNI except for the volatile matter content and carbon content, with a water content value of 3-4%, an ash content of 1-2%, a volatile content of 52-53%, a carbon content of 42-43%, and a carbon content of absorption iodine of 939,06–951,75 mg/g. FTIR results obtained functional groups O-H, C-H, C=O, C=C, and C-O, the absorption test of activated carbon after modification of citric acid with concentrations of 0,4 M, 0,6 M, and 0,8 M obtained successive results of 38%, 49%, and 40%, and the results of SEM analysis showed that the pore morphology of tamarind seed carbon modified with active citric acid at 0,6 M had more pore cavities. The best metal absorption can be covered by activated carbon modified with 0,6 M citric acid, with an absorption proportion of 49%.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur kehadiran Allah Swt yang telah menganugerahkan Al-Quran sebagai *hudan lin nas* (petunjuk bagi seluruh manusia) dan *rahmatan lil'alamin* (rahmat bagi segenap alam). Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad Saw beserta keluarganya, para sahabatnya dan seluruh umatnya yang selalu istiqomah hingga akhir zaman. Penulis dalam kesempatan ini mengambil judul skripsi “**Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) Termodifikasi Asam Sitrat sebagai Adsorben untuk Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb)**”. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat-syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan untaian doanya selama ini. Penulis juga mendapatkan banyak pengetahuan dan wawasan baru yang sangat berarti. Oleh karena itu, penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Bapak Muammar Yulian, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Ibu Reni Silvia Nasution, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Bapak Muammar Yulian, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

5. Bapak Muhammad Ridwan Harahap, M.Si., selaku Dosen Penguji I dalam penulisan skripsi Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
6. Bapak Muslem, M.Sc., selaku Dosen Penguji II dalam penulisan skripsi Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
7. Seluruh Ibu/Bapak Dosen dan Staf Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan kimia leting 2019 yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi ini khususnya Yovi Permata Sari Dalimunthe, Willa Volara dan Ainun Nazhmah Lubis yang telah menjadi rumah ke-2 bagi saya dalam melewati kehidupan di perantauan.
9. Terakhir, Terimakasih untuk diri sendiri karena telah mampu berusaha keras dan bertahan sejauh ini, berhasil mengendalikan diri dari tekanan dan tidak pernah menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini.

Penulis mengucapkan terimakasih atas bimbingan dan dorongannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, semoga segala bantuan dan doa yang telah diberikan mendapat balasan yang baik pula dari Allah Swt. Semoga penulisan skripsi ini memberikan manfaat dari berbagai pihak. Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dengan kata sempurna banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritikan yang dapat membangun dalam menyempurnakan skripsi ini.

Banda Aceh, 04 Agustus 2023

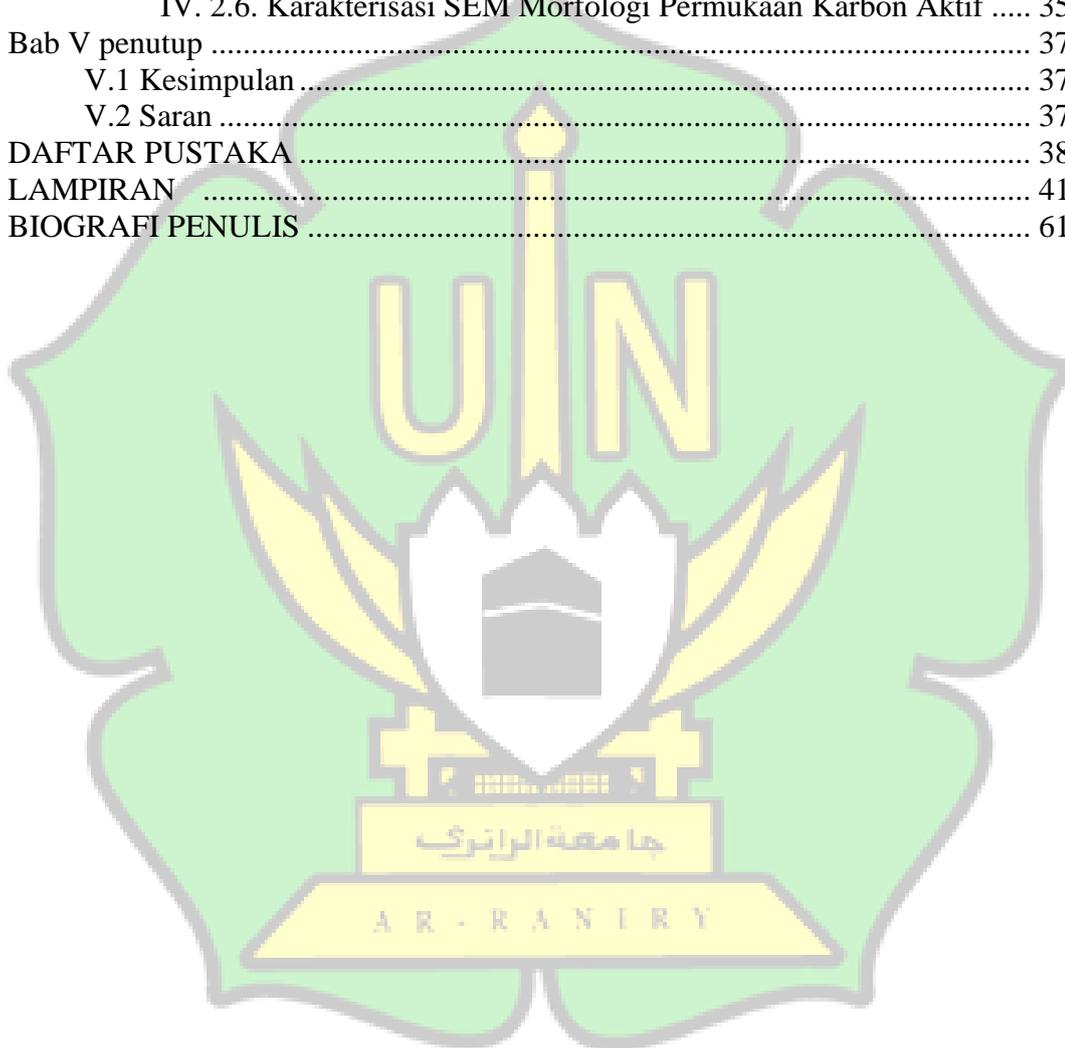
Penulis

Krismawati

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I Pendahuluan	1
I. 1. Latar Belakang	1
I. 2 Rumusan Masalah	3
I. 3 Tujuan Penelitian.....	3
I. 4 Manfaat Penelitian.....	4
I. 5 Batasan Masalah.....	4
Bab II Tinjauan Pustaka	5
II. 1 Asam Jawa	5
II. 2 Karbon Aktif	6
II. 3 Pembuatan Karbon Aktif	7
II. 3.1. Aktivasi.....	8
II. 3.2. Modifikasi Karbon Aktif Menggunakan Asam Sitrat	9
II. 4 Adsorpsi	10
II. 4.1. Jenis Adsorpsi.....	11
II. 4.2. Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi	12
II. 4.3. Metode <i>Batch</i>	13
II. 4.4. Kapasitas Adsorpsi	13
II. 5 Logam Berat	14
II. 5.1. Logam Timbal (Pb)	14
II. 6 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	16
II. 8 <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS)	17
Bab III Metode Penelitian	19
III. 1 Waktu dan Tempat.....	19
III. 2 Alat dan Bahan	19
III. 2.1. Alat	19
III. 2.2. Bahan.....	19
III. 3 Prosedur Kerja	19
III. 3.1. Karbonisasi Biji Asam Jawa	19
III. 3.2. Proses Aktivasi	19
III. 3.3. Modifikasi Karbon Aktif Menggunakan Asam Sitrat.....	20
III. 3.4. Rendemen Karbon Aktif	20
III. 3.5. Karakteristik Mutu Karbon Aktif Biji Asam Jawa.....	20
III. 3.6. Karakterisasi Karbon Menggunakan FTIR	22
III. 3.7. Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar Timbal (Pb).....	22

III. 3.8. Adsorpsi Logam Timbal (Pb).....	23
III. 3.9. Karakterisasi Morfologi Permukaan Menggunakan SEM	23
Bab IV hasil dan Pembahasan.....	24
IV. 1. Hasil Penelitian.....	24
IV. 2 Pembahasan	28
IV. 2.1. Preparasi Karbon.....	28
IV. 2.2. Pembuatan Karbon Aktif Termodifikasi Asam Sitrat.....	28
IV. 2.3. Karakterisasi Mutu Karbon aktif (SNI 0637-1995).....	30
IV. 2.4. Adsorpsi Logam Berat Pb.....	33
IV. 2.5. Karakterisasi Karbon Menggunakan FTIR.....	34
IV. 2.6. Karakterisasi SEM Morfologi Permukaan Karbon Aktif	35
Bab V penutup	37
V.1 Kesimpulan	37
V.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	41
BIOGRAFI PENULIS	61



DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Taksonomi Asam Jawa.....	4
Tabel II. 2. Standar Karbon Aktif (SNI)	7
Tabel IV. 1. Hasil Rendemen Karbon Aktif	24
Tabel IV. 2. Hasil Karakterisasi Uji SNI Karbon Aktif	24
Tabel IV. 3. Analisis Gugus Fungsi Karbon Biji Asam Jawa.....	25
Tabel IV. 4. Data Efisiensi Penyerapan Logam Pb Oleh Adsorben	27



DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Biji Asam Jawa.....	4
Gambar II. 2 Ilustrasi Makropori, Mesopori dan Mikropori.....	6
Gambar II. 3 Struktur Senyawa Asam Sitrat.....	10
Gambar II. 4 Ilustrasi Proses Adsorpsi	11
Gambar IV.1 Karbon Biji Asam Jawa	24
Gambar IV.2 Spektrum FTIR	25
Gambar IV.3 Kurva Standar Pb	26
Gambar IV.4 Karbon Teraktivasi Asam Fosfat	27
Gambar IV.5 Karbon Termodifikasi Asam Sitrat.....	27
Gambar IV.6 Karbon Setelah Proses Adsorpsi Logam Pb	28
Gambar IV.7 Grafik Karakterisasi Hasil Uji SNI.....	29



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Skema Penelitian	42
Lampiran 2. Pembuatan Larutan	45
Lampiran 3. Perhitungan Penurunan Persamaan Garis Regresi Larutan Standar Pb	47
Lampiran 4. Perhitungan Rendemen.....	50
Lampiran 5. Perhitungan Hasil Uji SNI Karbon Biji Asam Jawa.....	51
Lampiran 6. Perhitungan Kapasitas dan Persentase Efisien Adsorpsi Karbon.....	54
Lampiran 7. Spektra FTIR	56
Lampiran 8. Dokumentasi Pembuatan Karbon Aktif.....	58
Lampiran 9. Dokumentasi Pengaplikasian Karbon Aktif	60



BAB I

PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Karbon aktif adalah istilah untuk menggambarkan bahan berbasis karbon yang mengandung struktur pori internal yang berkembang dengan baik terdiri dari pori mikro, meso, dan makro, luas permukaan tinggi, porositas besar, serta gugus fungsi yang ada di permukaan karbon aktif yang dapat digunakan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi (Bhatnagar dkk., 2013). Adsorpsi adalah proses dimana molekul tertentu menempel pada permukaan adsorben dengan tujuan untuk menghilangkan limbah atau zat pencemar yang ada dalam air (Hanum dkk., 2017). Adsorpsi merupakan salah satu cara yang efektif untuk mengurangi kandungan logam berat dalam limbah industri seperti logam timbal (Pb) (Sultana dkk., 2022). Kandungan logam Pb dalam perairan dapat meningkat seiring dengan tingkat pencemaran logam tersebut. Hal ini menyebabkan akumulasi logam Pb pada makhluk hidup dalam perairan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya konsentrasi logam Pb. Dengan demikian karbon aktif dapat digunakan sebagai salah satu solusi untuk mengatasi pencemaran tersebut.

Karbon aktif dapat diperoleh dari bahan organik kaya karbon termasuk tempurung kelapa, kayu, kulit buah-buahan dan salah satunya biji asam jawa. Pemanfaatan biji asam jawa sebagai adsorben merupakan pilihan alternatif yang menjanjikan dalam mendukung aplikasi proses adsorpsi yang ramah lingkungan dengan biaya yang rendah. Berdasarkan strukturnya, biji asam jawa mengandung selulosa dalam karbohidrat 50-57% yang mempunyai potensi cukup besar untuk dijadikan adsorben (Rizki dkk., 2019). Penggunaan biji asam jawa dapat memberikan nilai tambah ekonomi bagi masyarakat setempat, dengan meningkatkan harga jual biji asam jawa yang sebelumnya tidak terpakai. Selain itu, pemanfaatan biji asam jawa sebagai adsorben juga membantu mengurangi limbah pertanian yang dihasilkan, sehingga memiliki dampak positif terhadap lingkungan.

Biji asam jawa dapat diubah menjadi karbon melalui proses karbonisasi. Hasil dari karbonisasi bahan baku menghasilkan karbon dengan pori-pori tertentu, tetapi sebagian besar pori masih tertutup oleh berbagai unsur seperti hidrokarbon, abu, air, nitrogen dan sulfur yang menyebabkan daya serapnya menjadi rendah. Untuk meningkatkan kemampuan daya serap karbon tersebut dapat diaktivasi menjadi karbon aktif melalui proses aktivasi. Dalam proses aktivasi suatu zat atau senyawa kimia disebut aktivator yang berperan sebagai reagen pengaktif. Aktivator kimia yang biasa digunakan berupa asam basa dan garam seperti $ZnCl_2$, HCl , H_3PO_4 , H_2SO_4 dan $NaOH$ (Permatasari dkk., 2014). Aktivasi ini bertujuan untuk memperluas permukaan karbon sehingga pori-pori yang semula tersumbat oleh hidrokarbon akan terbuka. Dengan permukaan yang lebih besar karbon aktif dapat lebih efisien dalam proses adsorpsi karena memiliki kontak yang lebih baik dengan zat yang akan di adsorpsi. Aktivator yang dapat digunakan dalam pembuatan karbon adalah zat yang memiliki afinitas yang tinggi terhadap air, seperti asam fosfat memiliki kemampuan untuk menarik dan mengikat molekul air, sehingga membantu mengeluarkan air yang terperangkap dalam pori-pori karbon. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jayanti & Sumami (2015), mereka menggunakan biji asam jawa sebagai adsorben logam timbal (Pb) dengan menggunakan aktivator asam fosfat. Hasil penelitian tersebut, kapasitas adsorpsi biji asam jawa terhadap logam timbal adalah sebesar 2,7 mg/g.

Struktur karbon aktif mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang terikat pada gugus fungsi yang berperan penting dalam menyerap polutan seperti karboksil, karbonil, fenol dan lain-lain. Kehadiran gugus fungsi ini pada permukaan karbon mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi pada karbon aktif secara signifikan, dapat dilakukan modifikasi kimia dengan menggunakan asam sitrat pada proses pembuatannya. Molekul asam sitrat memiliki 3 gugus karboksil yang merupakan gugus fungsi asam dengan atom oksigen yang dapat memberikan proton. Gugus fungsi asam ini pada permukaan karbon memiliki kemampuan untuk menghilangkan logam berat dalam air karena ion positif pada logam

memiliki kecenderungan untuk berikatan dengan gugus asam yang bermuatan negatif (Bhatnagar dkk., 2013). Pada penelitian Mulana dkk., (2018) menggunakan kulit asam jawa yang telah dimodifikasi dengan asam sitrat sebagai adsorben, kapasitas penyerapan logam kadmium (Cd) mencapai 30,166 mg/g. Penelitian lainya juga dilakukan oleh Harahap dkk., (2017), tentang penyerapan ion logam mangan (Mn) menggunakan adsorben dari sekam padi. Hasil aktivasi dengan asam sitrat dengan variasi konsentrasi asam sitrat 0,2 ; 0,4 dan 0,6 M diperoleh hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi 0,4 M dengan persentase penyerapan sebesar 54,15 % dan daya penyerapan sebesar 0,084 mg/g.

Berdasarkan uraian di atas modifikasi karbon aktif menggunakan asam sitrat diharapkan dapat menghasilkan karbon aktif yang mampu menyerap lebih banyak logam Pb dari larutan. Hal ini akan membantu dalam meningkatkan daya penyerapan karbon aktif dan mengurangi konsentrasi logam berat Pb dalam air.

I. 2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Apakah karakteristik karbon aktif dari biji asam jawa termodifikasi asam sitrat memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995
2. Apakah karbon aktif dari biji asam jawa termodifikasi asam sitrat mampu menyerap logam timbal (Pb) ?

I. 3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui karakteristik karbon aktif dari biji asam jawa termodifikasi asam sitrat berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995.
2. Untuk mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif biji asam jawa terhadap logam berat timbal (Pb).

I. 4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

3. Dapat menjadi acuan untuk limbah pertanian menjadi adsorben ramah lingkungan sebagai alternatif untuk penyerapan logam berat timbal (Pb) dalam air dengan baik, sederhana dan efisien.
4. Mengetahui kualitas karbon aktif biji asam jawa sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995.

I. 5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan baku karbon aktif menggunakan biji asam jawa dari sekitaran Banda Aceh dan Aceh Besar.
2. Aktivator yang digunakan larutan asam fosfat (H_3PO_4)
3. Modifikasi karbon aktif menggunakan larutan asam sitrat ($C_6H_8O_7$)
4. Adsorbat yang digunakan dari larutan logam timbal (Pb)
5. Mutu karbon aktif dilakukan uji Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 dengan parameter meliputi kadar air, kadar abu, kadar volatil, kadar karbon dan penyerapan iodin. Karakterisasi menggunakan alat instrumen FTIR dan SEM.
6. Pengujian kadar logam berat dilakukan dengan alat instrumen AAS.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1 Asam Jawa

Asam jawa (*tamarindus indica*) adalah tumbuhan yang termasuk dalam keluarga *fabaceae* (*leguminosae*) dan merupakan satu-satunya marga tamarindus. Asam jawa sering digunakan sebagai keperluan bahan tambah pangan dan juga dalam pengobatan medis (Gati., 2019). Asam jawa (*tamarindus indica* L) berasal dari Afrika dan telah menyebar luas di berbagai benua di Asia. budidayanya berkembang dengan baik di daerah tropis. Tumbuhan asam jawa bisa tumbuh dengan tinggi 20-30 meter dan memiliki batang berdiameter 1,5-2,0 meter. Umur tanaman asam jawa bisa mencapai lebih dari 200 tahun. Bagian bagian tumbuhan ini terdiri dari akar, batang, daun, buah dan juga biji. Biji asam jawa memiliki bentuk bulat tidak beraturan dengan tekstur yang keras dan berukuran sekitar 15 mm. Biji ini berwarna hitam mengkilap (El-Siddig., 2006).

Tabel II.1 Taksonomi Asam Jawa

Kingdom	Plantae
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Kelas	<i>Magnoliopsida</i>
Ordo	<i>Fabales</i>
Famili	<i>Fabaceae</i>
Genus	<i>Tamarindus</i>
Spesies	<i>Tamarindus Indica</i> L

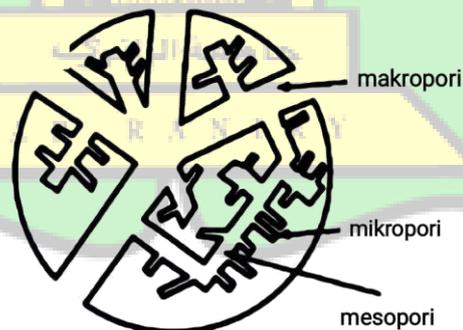


Gambar II.1 Biji Asam Jawa

Biji asam jawa juga mengandung karbohidrat yang termasuk dalam kelompok senyawa organik dalam golongan senyawa polimer. Senyawa polimer terdiri dari D-glukosa yang berikatan dengan glukosa yang membentuk suatu struktur 1,4- β -D-glukosa. Molekul selulosa dalam biji asam jawa secara keseluruhan memiliki bentuk yang linier dan cenderung membentuk ikatan hidrogen pada gugus-gugus -OH baik antara unit-unit glukosa yang berdekatan dengan molekul selulosa itu sendiri maupun antara molekul selulosa yang berdampingan satu sama lain.

II. 2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa karbon amorf yang memiliki porositas yang dilapisi oleh senyawa karbon dengan luas area yang tinggi berkisar antara 500-2000 m²/g (Kristianto., 2017). Karbon aktif memiliki karakteristik berwarna hitam tidak berbau dan tidak berasa memiliki daya adsorpsi yang sangat besar yaitu 25-100 % terhadap berat karbon aktif (Rahim dkk., 2022). Karbon aktif banyak digunakan dalam pengolahan air limbah sebagai adsorben karena kapasitas adsorpsi yang kuat dan struktur pori yang melimpah. Karbon aktif mengandung pori makro berukuran >50 nm, pori meso berukuran 2-50 nm dan pori mikro < 2 nm, yang berkembang baik dengan berbagai gugus fungsi di permukaan dalam strukturnya.



Gambar II.2 Ilustrasi makropori, mesopori dan mikropori (Setianingsih., 2018)

Pori Karbon aktif dapat dikelompokkan berdasarkan fungsi pori yang berkaitan dengan aplikasinya sebagai adsorben. Terdapat 2 kategori pori karbon aktif, yaitu:

1. Pori transpor

Pori ini terdiri dari makropori dengan ukuran jari-jari lebih besar dari 25 nm.

2. Pori pengadsorpsi

Pori ini terdiri dari beberapa tipe, yaitu:

- a) Mesopori dengan ukuran 1-25 nm.
- b) Mikropori dengan ukuran 0,2-1 nm.
- c) Sub mikropori dengan ukuran kurang dari 0,2 nm.

II. 3 Pembuatan Karbon Aktif

Menurut Tang & Bacon dalam penelitian Kristianto (2017) secara umum, skema dekomposisi selulosa terdiri melalui empat tahap berdasarkan rentang temperaturnya. Tahap pertama terjadi pada temperatur 25-150°C dimana air menguap dan proses ini bersifat reversibel. Tahap kedua terjadi pada temperatur 150-240°C, dimana selulosa mengalami dehidrasi sehingga terjadi ikatan silang antar molekul gula terbentuk untuk menggantikan ikatan hidrogen. Tahap ketiga berlangsung pada temperatur 240-400°C dan merupakan tahap degradasi termal, dimana terjadi pemutusan ikatan CO dan C-C pada struktur selulosa. Pada tahap ini, terbentuk levoglucosan yang kemudian berubah menjadi tar, serta terbentuk produk gas H₂O, CO, dan CO₂. Beberapa produk degradasi termal ini juga termasuk senyawa dengan 4 atom karbon yang berperan dalam pembentukan struktur *graphite* pada tahap keempat, yaitu aromatisasi dan polimerisasi.

Pembuatan karbon aktif melibatkan dua tahap, yaitu karbonisasi dan aktivasi karbon yang berlangsung melalui langkah beberapa langkah berikut:

1. Proses Dehidrasi pada tahap ini, kadar air dari bahan baku dihilangkan dengan memanaskan pada suhu 170 °C.
2. Proses karbonisasi melibatkan proses pemecahan selulosa organik menjadi unsur karbon.

3. Proses Aktivasi berfokus pada penghilangan senyawa pengotor sehingga pori-pori karbon aktif menjadi lebih besar (Lempang., 2014).

Kualitas karbon aktif juga dipengaruhi oleh kesempurnaan dalam proses karbonisasinya. Pengaruh oleh suhu sangat besar dalam proses ini karena hal ini mempengaruhi kualitas karbon yang dihasilkan. Jumlah karbon yang dihasilkan bergantung pada komposisi awal limbah pertanian yang digunakan. Jika dalam proses karbonisasi banyak zat menguap maka jumlah karbon yang dihasilkan akan berkurang karena banyak bagian karbon yang terlepas ke udara (Meilianti., 2017).

Karakteristik karbon aktif perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kualitas adsorben, berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995. Standar ini mencakup berbagai parameter yang meliputi kadar zat menguap, kadar air, kadar abu, kemurnian karbon, penyerapan iodin dan sifat-sifat fisik lainnya yang harus dipenuhi oleh karbon aktif. Limbah pertanian yang memiliki kandungan karbon tinggi, rendah kandungan anorganik, dan tersedia dalam jumlah yang banyak dapat menjadi bahan baku yang baik untuk dijadikan karbon aktif (Yahya dkk., 2015).

Tabel II.2 Standar Karbon Aktif (SNI) 06-3730-1995

Jenis persyaratan	Parameter
Kadar air	Maksimal 15 %
Kadar zat mudah menguap	Maksimal 25 %
Kadar abu	Maksimal 10 %
Kadar karbon	Minimal 65%.
Daya serap I ₂	Minimal 750 mg/g

II. 3.1. Aktivasi

Hasil dari proses karbonisasi bahan baku menghasilkan karbon yang sebagian besar memiliki pori-pori yang masih tertutup oleh hidrokarbon, tar dan komponen lain seperti abu, nitrogen dan sulfur. Akibatnya, daya serapnya menjadi rendah. Luas permukaan terbagi menjadi dua bagian yaitu luas permukaan internal dan luar permukaan eksternal. Untuk peningkatan luas

permukaan eksternal dapat dilakukan dengan cara memperkecil ukuran partikel, sedangkan untuk meningkatkan luas permukaan internal dilakukan proses aktivasi. Untuk peningkatan daya serap karbon adalah mengubah bahan baku menjadi karbon aktif melalui proses aktivasi.

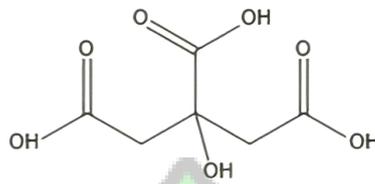
Aktivasi adalah proses mengubah karbon dari daya serap rendah menjadi karbon dengan daya serap tinggi. Tujuan dari proses aktivasi adalah meningkatkan volume dan ukuran pori yang terbentuk selama proses karbonisasi serta menciptakan pori-pori baru. Pengaktifan karbon umumnya menggunakan bahan kimia asam basa dan garam, dengan cara merendam bahan baku pada bahan kimia. Aktivasi kimia memiliki keunggulan yaitu memerlukan temperatur rendah dan penyerapan lebih tinggi. Aktivasi karbon dapat dilakukan dengan penambahan zat kimia tertentu yang memperluas permukaan karbon menjadi lebih besar karena hidrokarbon yang menyumbat pori-pori terbebaskan dan untuk menambah gugus aktif dalam karbon.

Asam fosfat (H_3PO_4) berfungsi sebagai aktivator yang berguna untuk meningkatkan ukuran dan diameter pori dalam proses karbonisasi serta untuk membentuk pori baru. Interaksi antara zat pengaktifasi dengan struktur atom karbon hasil karbonisasi merupakan mekanisme dari proses aktivasi. Asam fosfat adalah asam mineral yang memiliki rumus kimia H_3PO_4 yang memiliki kegunaan termasuk sebagai reagen kimia, inhibitor karat, aditif makanan, etchant industri, bahan baku pupuk dan digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif. Larutan asam sulfat tidak berwarna dan tidak berbau meskipun asam fosfat tidak dikategorikan sebagai asam kuat, asam fosfat cukup asam untuk memiliki korosif (Meilianti., 2017).

II. 3.2. Modifikasi Karbon Aktif Menggunakan Asam Sitrat ($C_6H_8O_7$)

Asam sitrat ($C_6H_8O_7$) merupakan jenis asam hidroksil trikarboksilat (2 hidroksi-1,2,3-propana trikarboksilat) yang diperoleh dari buah-buahan atau melalui proses fermentasi. Pada tahun 1784, Scheele pertama kali mengisolasi dan mengkristalkan senyawa organik ini dari salah satu buah jeruk. Sejak tahun 1860, asam sitrat mulai diproduksi secara komersial di Inggris. Asam sitrat memiliki beberapa keunggulan yakni merupakan bahan

kimia yang murah dan aman untuk digunakan karena tidak beracun, struktur kimia asam sitrat ($C_6H_8O_7$) seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar II.3 Struktur Senyawa Asam Sitrat.

Pengaktifan asam sitrat bertujuan untuk menambah gugus aktif permukaan karbon. Gugus yang terkandung antara lain tiga gugus karboksil dan 1 gugus hidroksil. Asam sitrat ($C_6H_8O_7$) dapat meningkatkan daya serap karena gugus karboksilatnya mengandung ion negatif sementara logam yang menjadi fokus penelitian ini memiliki ion positif (Irviyanti., 2019).

II. 4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses dimana zat adsorbat tertarik menempel pada permukaan adsorben karena adanya gaya tarik menarik antara molekul padatan dengan material terserap ataupun melibatkan interaksi kimia. Dengan adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan kedalam permukaannya (Astuti & Kurniawan., 2015). Proses adsorpsi karbon aktif telah diakui sebagai cara yang efektif untuk menghilangkan bahan kimia organik, klorin, logam berat, bau dari gas atau aliran limbah cair (Ahmad dkk., 2020).

Adsorpsi adalah fenomena dimana adsorbat yaitu zat atau molekul yang menempel pada bahan penyerap berinteraksi dengan adsorben. Zat atau molekul yang terserap di permukaan disebut adsorbat, sedangkan zat atau molekul yang menyerap disebut adsorben. Interaksi ini hanya terjadi di permukaan adsorben, dimana adsorbat berada pada posisi yang berdekatan dengan permukaan tersebut. Keuntungan utama dari metode adsorpsi adalah

biaya rendah, operasi yang relatif sederhana, dan efisiensi tinggi dalam mengurangi konsentrasi logam berat. Selain itu, metode adsorpsi juga dapat diterapkan pada berbagai jenis limbah cair dan logam berat yang berbeda.

II. 4.1. Jenis Adsorpsi

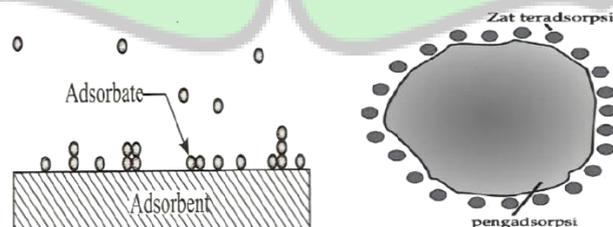
Gaya tarik menarik dari suatu padatan dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu gaya fisika (*physisorpsi*) dan gaya kimia (*chemisorpsi*). Berdasarkan kekuatan interaksi dalam proses adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Adsorpsi kimia (*chemical adsorption*)

Adsorpsi kimia terjadi ketika pertukaran atau pembagian elektron antara molekul adsorbat pada permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Interaksi adsorbat dengan adsorben melalui pembentukan ikatan kimia dan ikatannya lebih kuat daripada adsorpsi fisika.

2. Adsorpsi fisika (*physical adsorption*)

Adsorpsi fisika adalah proses adsorpsi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antarmolekul, gaya yang terjadi yaitu interaksi gaya Van Der Waals. Adsorpsi fisika terjadi apabila gaya intramolekul lebih besar dari gaya tarik intermolekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi berlangsung cepat, reversible dan kalor reaksinya rendah. Adsorbat pada adsorpsi fisika tidak terlalu kuat pada permukaan adsorben, sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain (Hanum dkk., 2017).



Gambar II.4 Ilustrasi Proses Adsorpsi (Setyawati., 2015)

II. 4.2. Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Menurut Syauqiah dkk., (2011) kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi suatu zat dalam adsorbat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Luas permukaan

Semakin besar luas permukaan adsorben, semakin banyak zat yang akan teradsorpsi. Luas permukaan adsorben dipengaruhi oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben yang digunakan.

2. Kecepatan pengadukan

Apabila pengadukan dilakukan dengan lebih cepat, molekul-molekul adsorbat dan adsorben akan berinteraksi lebih sering sehingga akan mempercepat proses adsorpsi.

3. Temperatur

Pemanasan atau pengaktifan adsorben akan meningkatkan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat sehingga pori-pori adsorben akan lebih terbuka. Namun, pemanasan yang berlebihan dapat merusak adsorben sehingga kemampuan penyerapannya menurun.

4. Waktu aktivasi

Semakin lama aktivasi pori-pori adsorben semakin banyak terbuka sehingga meningkatkan daya serap adsorben.

5. Karakteristik adsorben

Karakteristik adsorben yang mempengaruhi laju adsorpsi adalah ukuran dan luas permukaan partikel. Semakin kecil adsorben maka laju adsorpsi akan semakin cepat, sementara semakin luas permukaan adsorben maka jumlah partikel adsorbat yang diserap akan semakin banyak.

6. pH

pH memiliki pengaruh yang besar terhadap tingkat proses adsorpsi, disebabkan ion hidrogen dapat menyerap dengan kuat, selain itu pH juga dapat mempengaruhi ionisasi. Senyawa organik asam lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH basa, sedangkan senyawa organik basa lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH asam.

7. Massa adsorben

Massa adsorben yang besar pada proses adsorpsi akan berlangsung cepat dan mencapai titik kejenuhan. Massa adsorben semakin bertambah maka adsorbat makin mudah teradsorpsi. Peningkatan jumlah adsorben akan meningkatkan jumlah sisi aktif sehingga efisiensi adsorpsi akan meningkat, namun sisi aktif tersebut akan saling berkompetisi dalam penyerapan adsorbat sehingga akan menyebabkan kapasitas adsorpsi menjadi menurun jika dibandingkan dengan jumlah adsorben yang sedikit.

8. Konsentrasi adsorbat

Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben hingga mencapai titik jenuh.

II. 4.3. Metode *Batch*

Adsorpsi menggunakan sistem *batch* dilakukan dengan menggunakan beberapa gelas erlenmeyer berisi larutan yang mengandung zat tertentu yang akan diadsorpsi pada konsentrasi dan volume tertentu. Pada gelas erlenmeyer memerlukan sejumlah adsorben dengan berat tertentu. Setelah itu, larutan dan adsorben dalam gelas erlenmeyer diaduk dalam waktu tertentu. Setelah proses pencampuran selesai, konsentrasi larutan dianalisis. Selisih konsentrasi adsorbat sebelum dan setelah adsorpsi dianggap sebagai konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben. Besarnya adsorbat yang telah teradsorpsi oleh tiap satuan berat adsorben dapat dihitung konsentrasinya dari gelas erlenmeyer.

II. 4.4. Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi merupakan suatu fungsi konsentrasi zat terlarut (adsorbat) yang terserap pada permukaan padatan (adsorben) terhadap konsentrasi larutan tertentu. Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = \frac{c_1 - c_2}{m} \times \dots\dots\dots 2.1$$

Sedangkan persentase adsorpsi (efisien adsorpsi) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\% E = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \times 100\% \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

- Q = kapasitas adsorpsi per bobot molekul (mg/g)
- C₁ = konsentrasi awal larutan (mg/L)
- C₂ = konsentrasi akhir larutan (mg/L)
- m = massa adsorben (g)
- V = volume larutan (mL)
- % E = efisiensi adsorpsi.

II. 5 Logam Berat

Logam berat adalah unsur senyawa logam dengan massa jenis lebih dari 5 gr/cm³ (Maslukah dkk., 2019). Logam berat merupakan komponen alami yang ada di permukaan bumi yang tidak dapat didegradasi ataupun dihancurkan dan merupakan zat yang berbahaya karena dapat terjadi bioakumulasi. Bioakumulasi terjadi ketika konsentrasi zat kimia dalam tubuh makhluk hidup dalam jangka waktu yang lama, melebihi konsentrasi zat kimia di lingkungan alaminya. Logam berat adalah unsur alami yang mudah terlarut dalam air dan membentuk senyawa ionik yang memiliki muatan positif didalamnya serta dapat melepaskan satu atau lebih elektron.

Logam berat memiliki sifat antara lain memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, memiliki kelenturan dan kilau, serta mudah kehilangan salah satu elektron yang bertujuan untuk membentuk kation. Dalam identifikasi terhadap unsur kimia secara umum yang dimana 89 unsur kimia yang termasuk dalam jenis logam berat (Maghfirana., 2019).

II. 5.1. Logam Timbal (Pb)

Logam berat yang dapat masuk ke dalam lingkungan adalah timbal (Pb). Pencemaran logam berat dalam tanah oleh Timbal (Pb) disebabkan oleh

limbah B3 dari air yang tercemar logam berat timbal (Pb) yang melebihi batas konsentrasi alam. Pada peningkatan kadar logam timbal (Pb) pada perairan terjadi dikarenakan oleh proses pengendapan logam berat dengan padatan tersuspensi dan mempengaruhi kualitas sedimen pada dasar perairan dan permukaan perairan sehingga dapat berbahaya karena memiliki sifat toksik (Permadi., 2019). Logam timbal (Pb) memiliki unsur yang bersifat karakteristik antara lain berwarna putih kebiru-biruan, mengkilap, tahan terhadap reaksi senyawa asam, tahan karat, tahan terhadap radiasi, dapat bereaksi dengan senyawa asam kuat, dan memiliki daya hantar listrik yang buruk. Logam berat timbal di alam terdapat pada mineral Galena (PbS), Anglesit (PbSO₄) dan Kerusit (PbCO₃) yang tersebar dalam keadaan bebas. Logam berat timbal juga memiliki jumlah valensi yaitu 2 dan 4 serta mempunyai massa atom relatif sebesar 207,2 (Maghfirana., 2019).

Pencemaran logam berat (timbal) Pb merupakan masalah serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia karena tidak dapat dihancurkan atau didegradasi oleh organisme hidup dalam lingkungan. Oleh karena itu, ketika logam tersebut terlepas ke dalam perairan melalui aktivitas manusia seperti industri, transportasi, pertambangan dapat menumpuk dan mencemari ekosistem perairan. Organisme air seperti ikan dan tanaman air dapat menyerap logam Pb dari lingkungan sekitarnya. Paparan jangka panjang terhadap logam Pb memiliki dampak negatif pada manusia. Logam Pb dapat merusak sistem saraf, mengganggu perkembangan fisik dan mental, serta menyebabkan gangguan dalam fungsi organ tubuh seperti ginjal, hati dan sistem reproduksi. Kegiatan-kegiatan manusia yang dapat menyebabkan masuknya logam berat ke lingkungan adalah pertambangan minyak, emas, batubara, dan lain-lain, pembangkit tenaga listrik, peleburan logam, pabrik pupuk, kegiatan industri dan penggunaan produk sintetik misalnya pestisida, cat, baterai, limbah industri dan lain sebagainya.

Menurut Fibrianti & Azizah (2015) mengatakan bahwa logam Pb memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan manusia. Efek dari paparan logam Pb terbagi menjadi dua kategori yaitu efek akut dan efek kronis. Paparan akut dapat menyebabkan berbagai gejala seperti hilangnya nafsu

makan, sakit kepala, hipertensi, nyeri perut, gangguan fungsi ginjal, kelelahan, sulit tidur, arthritis, halusinasi dan vertigo. Sementara itu paparan kronis dapat menimbulkan dampak toksik yang lebih serius seperti, keterbelakangan mental, cacat lahir, psikosis, penurunan berat badan, autisme, alergi, disleksia, hiperaktif, kelumpuhan, kelemahan otot, kerusakan otak, kerusakan ginjal dan bahkan dapat menyebabkan kematian.

II. 6 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier Transform Infrared (FTIR) atau spektroskopi inframerah adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengetahui gugus fungsional atau senyawa dalam suatu sampel. Teknik ini juga untuk mengidentifikasi senyawa, menentukan struktur molekul, mengetahui kemurnian dan mempelajari reaksi yang sedang berlangsung. Prinsip kerja FTIR adalah energi inframerah dari sumber dipancarkan dan diteruskan melalui bagian optik spektrometer. Selanjutnya energi inframerah tersebut akan dideteksi dan dianalisis untuk mengetahui karakteristik vibrasi pada gugus fungsi. Ketika sampel dipaparkan oleh sinar inframerah ikatan kimia pada molekul-molekul akan mengalami vibrasi seperti *stretching* atau *bending* yang memberikan informasi khusus tentang gugus fungsional yang ada dalam sampel (Azmiyani., 2018).

II. 7 *Scanning Elektron Mikroskope (SEM)*

Scanning Elektron Mikroskope (SEM) adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan objek material yang dianalisis. Prinsip kerja SEM adalah penembakan permukaan dengan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan objek material. Ketika berkas elektron tersebut mengenai permukaan sehingga besar diantaranya akan dipantulkan kembali dan beberapa diantaranya akan menghasilkan elektron sekunder yang tersebar ke berbagai arah. Namun, ada satu arah khusus dimana berkas elektron dipantulkan dengan intensitas yang paling tinggi. Detektor yang ada di dalam SEM bertugas untuk mendeteksi elektron yang dipantulkan tersebut dan menentukan lokasi dimana berkas elektron yang dipantulkan dengan

intensitas tertinggi. Arah tersebut memberi informasi profil permukaan objek yang sedang diamati (Didik dkk., 2014).

SEM merupakan alat karakterisasi yang digunakan untuk mengidentifikasi morfologi senyawa padat dan komposisi unsur yang terkandung didalamnya. Metode ini menggunakan berkas elektron energi tinggi yang dipindai secara raster untuk merepresentasikan permukaan sampel. Dengan menggunakan SEM dapat dihasilkan gambaran morfologi permukaan karbon aktif yang mengandung berbagai rongga pori-pori. Selain itu, SEM juga dapat mengetahui struktur dan bentuk permukaan yang sangat halus (Yuliyanti dkk., 2012).

SEM banyak mempelajari morfologi permukaan termasuk struktur pori, susunan permukaan dan susunan pori material. Dalam produksi karbon aktif, analisis SEM dapat digunakan untuk memverifikasi keberadaan porositas dan pengembangan pori selama proses pirolisis dan aktivasi (Ahmad dkk., 2021).

II. 8 *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*

Spektrofotometri Serapan Atom adalah teknik analisis yang berdasarkan pada pengukuran intensitas cahaya yang diserap oleh atom-atom bebas dari logam yang akan dianalisis. Metode spektrometri serapan atom digunakan untuk mengukur konsentrasi unsur-unsur logam dalam berbagai bahan seperti minuman, makanan, tanah, termasuk batuan, tanaman, dan bahan lainnya. *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)* adalah metode kuantitatif untuk menganalisis unsur dengan memanfaatkan cahaya dari atom-atom logam bebas dan mengukur penyerapan cahaya pada panjang gelombang yaitu 200-300 nm. Keunggulan metode AAS terletak pada tingkat spesifiknya terhadap logam yang diserap dan ketidaktergantungan terhadap sumber emisi cahaya (Noriyanti., 2012).

Prinsip dasar dari AAS adalah interaksi sampel dengan radiasi elektromagnetik. Terjadi penyerapan energi oleh atom yang mengalami transisi elektronik dari keadaan dasarnya ke keadaan tereksitasi. AAS merupakan metode yang cocok untuk menganalisis zat dengan konsentrasi rendah. Langkah kerja AAS dengan menguapkan larutan sampel lalu

mengubah logam-logam yang ada didalamnya menjadi atom-atom bebas. Atom mengadsorpsi radiasi dari sumber cahaya. Sumber cahaya ini dipancarkan dari lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang akan diukur. Penyerapan radiasi diukur pada panjang gelombang tertentu tergantung pada jenis logamnya (Siringo-ringo., 2019).



BAB III

METODE PENELITIAN

III. 1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2023 sampai dengan selesai, dilaksanakan di Laboratorium Kimia Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

III. 2 Alat dan Bahan

III. 2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer (*pyrex*), gelas ukur (*pyrex*), batang pengaduk, corong, oven, ayakan 100 *mesh*, *furnace*, neraca analitik, *hot plate*, kertas saring, cawan porselin, spatula, pipet volume, gelas *beaker*, *magnetic stirrer*, FTIR (Perkin Elmer) , SEM (JEOL 6510LA) dan AAS-Flame.

III. 2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah biji asam jawa, larutan asam sitrat ($C_6H_8O_7$), asam fosfat (H_3PO_4), logam timbal (Pb) dan akuades (H_2O).

III. 3 Prosedur Kerja

III. 3.1. Karbonisasi Biji Asam Jawa

Biji asam jawa sebanyak 500 g terlebih dahulu dibersihkan dicuci dengan air lalu dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 24 jam. Setelah itu, karbonasi dalam *furnace* dengan suhu 280°C selama 15 menit. Arang yang diperoleh kemudian dihaluskan dan diayak dengan ukuran 100 mesh (Jayanti & Sumarni., 2015).

III. 3.2. Proses Aktivasi

Karbon biji asam jawa yang diperoleh direndam menggunakan aktivator asam fosfat 2 N dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 80°C sambil diaduk menggunakan *magnetik stirrer* dengan rasio perbandingan

adsorben : asam fosfat, 1:10 (b/v) didinginkan lalu disaring dan dinetralkan dengan akuades sampai pH 7. Selanjutnya karbon aktif dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam (Jayanti & Sumarni., 2015).

III. 3.3. Modifikasi Karbon Aktif Menggunakan Asam Sitrat

Karbon aktif dicampur dengan asam sitrat dengan variasi konsentrasi asam sitrat 0,4 M, 0,6 M dan 0,8 M dengan rasio perbandingan adsorben : asam sitrat 1:10 (b/v) dalam beaker gelas dan diaduk dengan *magnetik stirrer* pada 200 rpm. Setelah 2 jam, karbon aktif dipanaskan selama 3 jam pada temperatur 50°C. Adsorben dipisahkan dari larutannya dengan kertas saring dan dicuci dengan akuades untuk menghilangkan kelebihan asam sitrat sampai pH=7, dan dilanjutkan dengan pengeringan kembali selama 24 jam pada temperatur 50°C (Abdulrahman., 2016).

III. 3.4. Rendemen Karbon Aktif

Karbon aktif yang telah jadi diukur massanya masing-masing dan dihitung rendemennya dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{\text{berat karbon}}{\text{berat bahan baku}} \times 100\% \dots\dots\dots 3.1$$

III. 3.5. Karakteristik Mutu Karbon Aktif Biji Asam Jawa

Karakterisasi karbon aktif biji asam jawa berdasarkan standar nasional indonesia (SNI 06-3730-1995).

1. Penentuan Kadar Air

Dengan cara menimbang berat cawan kosong dan berat cawan berisi karbon aktif 1 gram dan memanaskannya dalam oven selama 3 jam dengan suhu 115°C, kemudian dihitung kadar airnya dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar air} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan:

m₁ = massa porselin (g)

m₂ = massa porselin + sampel sebelum pemanasan (g)

m₃ = massa porselin + sampel setelah pemanasan (g)

2. Penentuan Kadar Abu

Dengan cara menimbang berat cawan kosong dan berat cawan berisi karbon aktif 1 gram dan memanaskannya dalam *furnace* dengan suhu 800°C selama 2 jam, kemudian dihitung kadar abunya dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar abu} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan:

- m_1 = massa porselin (g)
- m_2 = massa porselin + sampel awal (g)
- m_3 = massa porselin + abu (g)

3. Penentuan Kadar Volatil

Dengan cara menimbang berat cawan kosong dan berat cawan berisi karbon aktif 1 gram dan memanaskannya dalam *furnace* dengan suhu 950°C setelah suhu tercapai cawan dan isinya biarkan dingin, kemudian menghitung kadar zat menguapnya dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar volatil} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% - M_{ad} \dots\dots\dots 3.4$$

Keterangan:

- m_1 = massa porselin (g)
- m_2 = massa porselin + sampel sebelum pemanasan (g)
- m_3 = massa porselin + sampel setelah pemanasan (g)
- M_{ad} = kadar air %

4. Penentuan Kadar Karbon

Kadar karbon dapat ditentukan melalui selisih persentase total dengan jumlah persentase kadar air, kadar zat menguap dan kadar abu dari arang aktif.

$$\text{Kadar karbon} = 100\% - (\% \text{kadar abu} + \% \text{kadar air} + \% \text{kadar zat volatil})$$

5. Daya serap iodin

Dipanaskan karbon aktif pada suhu 115 selama 1 jam, lalu didinginkan dalam desikator selama 30 menit. Sebanyak 0,5 gram arang aktif diambil dan ditambahkan 50 mL larutan iodium 0,1 N, diaduk selama 15 menit dan

didiamkan selama 1 jam. Diambil sebanyak 10 ml larutan filtrat kemudian ditambahkan 1 mL larutan amilum 1% sebagai indikator bila warna kuning telah samar. Dititrasi dengan natrium tiosulfat 0,1 N sampai warna biru hilang.

$$\text{Iodin} = \frac{(V1 \times N1 - V2 \times N2) 126,9 \times 5}{W} \dots\dots\dots 3.5$$

Keterangan :

V1= volume larutan iodium 0,1 N (mL)

N1 = Normalitas larutan iodium 0,1 N

V2 = larutan natrium tiosulfat yang diperlukan (mL)

N2 = normalitas natrium tiosulfat

W = berat sampel

III. 3.6. Karakterisasi Karbon Menggunakan FTIR

Karbon biji asam jawa yang dihasilkan dianalisis menggunakan alat instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada karbon biji asam jawa alami, karbon diaktivasi dan karbon setelah dimodifikasi. Hasil analisis ini berupa peak yang menunjukkan gugus penyusun pada permukaan karbon pada rentang daerah serapan tertentu.

III. 3.7. Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar Timbal (Pb)

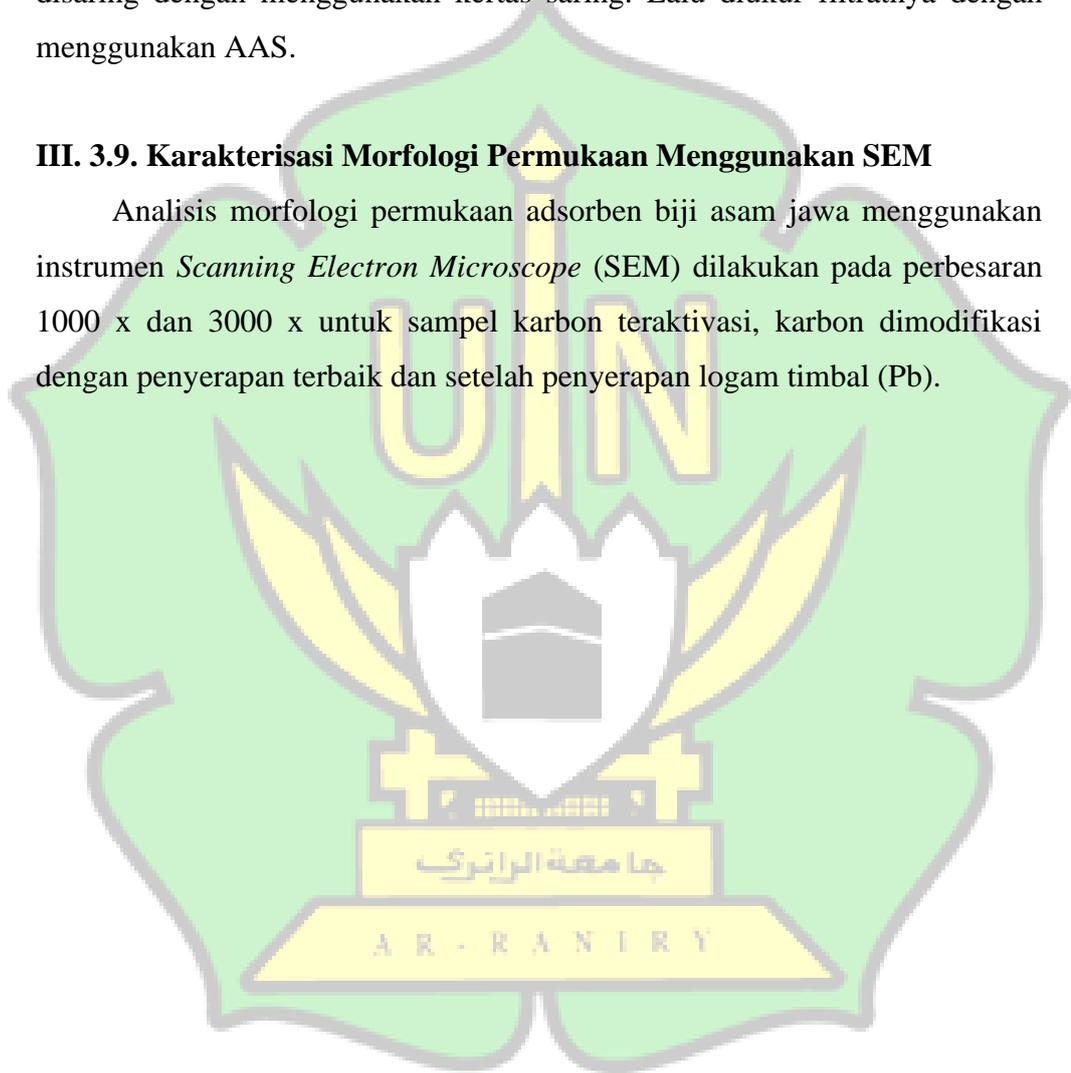
Dibuat Larutan standar Pb 10 mg/L dengan cara memindahkan 10 mL larutan Pb 100 mg/L ke dalam labu takar 100 mL kemudian diencerkan sampai tanda batas dengan aquabides setelah itu dihomogenkan. Selanjutnya dibuat larutan standar Pb dengan konsentrasi masing-masing 1,0 mg/L; 2,0 mg/L; 3,0 mg/L; 4,0 mg/L dan 5,0 mg/L dengan cara memindahkan masing-masing 5 mL 1; 10 mL; 15 mL; 20 mL dan 25 mL dari larutan standar 10 mg/L ke dalam labu takar 50 mL. Kemudian masing masing diencerkan sampai tanda batas dengan aquabides setelah itu dihomogenkan.

III. 3.8. Adsorpsi Logam Timbal (Pb)

Proses adsorpsi dilakukan dengan cara mengontakkan 0,5 g karbon aktif biji asam jawa yang telah dimodifikasi dengan asam sitrat 0,4 ; 0,6 dan 0,8 M dengan 100 mL sampel sintetis yang mengandung 5 ppm logam Pb pada erlenmeyer 125 mL. Kemudian larutan tersebut di *magnetik stirrer* dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 60 menit. Hasil pengadukan disaring dengan menggunakan kertas saring. Lalu diukur filtratnya dengan menggunakan AAS.

III. 3.9. Karakterisasi Morfologi Permukaan Menggunakan SEM

Analisis morfologi permukaan adsorben biji asam jawa menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan pada perbesaran 1000 x dan 3000 x untuk sampel karbon teraktivasi, karbon dimodifikasi dengan penyerapan terbaik dan setelah penyerapan logam timbal (Pb).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV. 1. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakterisasi karbon aktif yang dihasilkan biji asam jawa serta kemampuannya dalam mengadsorpsi logam Pb. Hasil karbon aktif dari biji asam jawa dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar IV.1 Karbon Aktif

Pada tabel dapat dilihat data rendemen karbon aktif biji asam jawa yang telah diaktivasi asam fosfat dan dimodifikasi asam sitrat.

Tabel IV.1 Hasil Rendemen Karbon

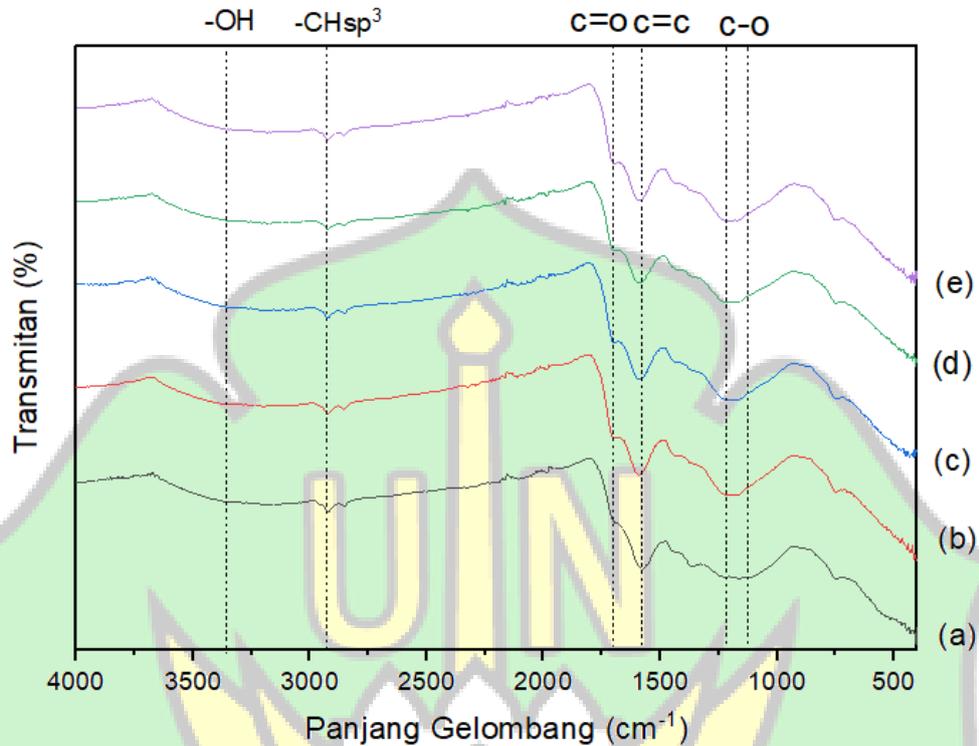
Sampel	Rendemen (%)
Karbon Teraktivasi	96,17 (%)
Karbon Modifikasi 0,4 M	96,8 (%)
Karbon Modifikasi 0,6 M	98,3 (%)
Karbon Modifikasi 0,8 M	98,7 (%)

Hasil pengujian Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995) karbon biji asam jawa dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel IV.2 Hasil Karakterisasi SNI Karbon Biji Asam Jawa

Karbon Aktif	Kadar Air (%)	Kadar Volatil (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Karbon (%)	Penyerapan Iodin (mg/g)
Standar SNI (06-3730-1995)	Maks 15 (%)	Maks 25 (%)	Maks 10 (%)	Min 65 (%)	Min 750 (mg/g)
As. sitrat 0,4 M	3	53	2	42	939,06
As. sitrat 0,6 M	3	52	1	43	951,75
As. sitrat 0,8 M	4	53	1	43	951,75

Hasil karakterisasi karbon menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar IV.2 Spektrum FTIR biji asam jawa (a) tanpa aktivasi dan modifikasi, (b) teraktivasi, (c) modifikasi asam sitrat 0,4 M, (d) modifikasi asam sitrat 0,6 M, (e) modifikasi asam sitrat 0,8 M.

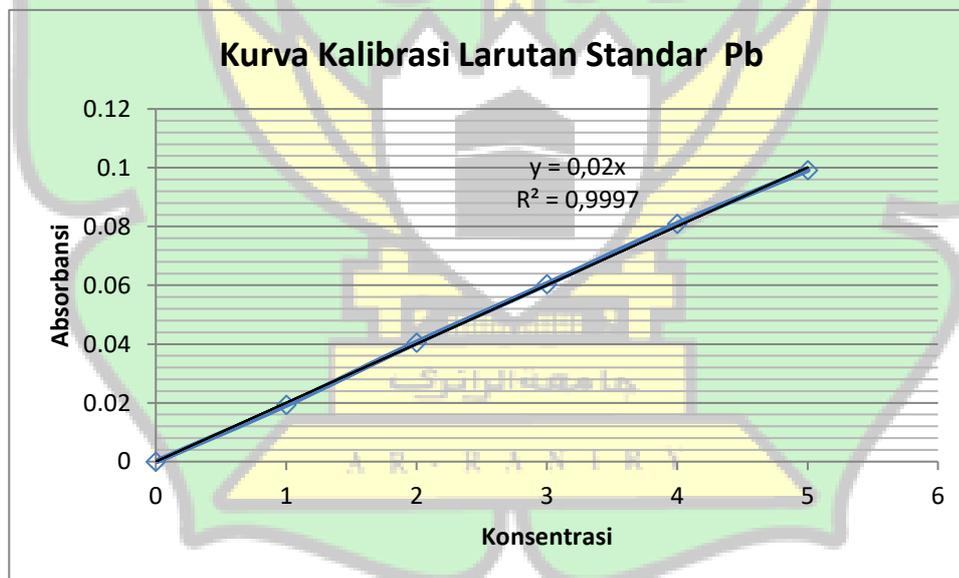
Berdasarkan hasil serapan FTIR karbon biji asam jawa diatas didapatkan *peak* yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel IV.3 Analisis Gugus Fungsi Karbon Biji Asam Jawa

Karbon Biji Asam jawa	Panjang Gelombang (Cm ⁻¹)	Transmitan (%)	Gugus Fungsi
Tanpa aktivasi dan modifikasi	3367	87,2	O-H
	2922	85,98	C-H
	1578	79,40	C=C
	1157	78,25	C-O
Teraktivasi	3355	85,79	O-H
	2923	84,67	C-H
	1742	87,27	C=O

	1591	77,65	C=C
	1214	75,32	C-O
As. Sitrat 0,4 M	3377	86,6	O-H
	2922	85,24	C-H
	1760	89,71	C=O
	1589	78,13	C=C
	1171	75,75	C-O
As. Sitrat 0,6 M	3362	88,1	O-H
	2923	87,04	C-H
	1760	90,54	C=O
	1590	80,80	C=C
	1203	78,58	C-O
As. Sitrat 0,8 M	3329	86,71	O-H
	2923	85,57	C-H
	1760	89,99	C=O
	1589	78,50	C=C
	1199	76,16	C-O

Pembuatan kurva standar bertujuan mengetahui hubungan konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya sehingga konsentrasi logam Pb dapat diketahui.



Gambar IV.3 Kurva Standar Timbal (Pb)

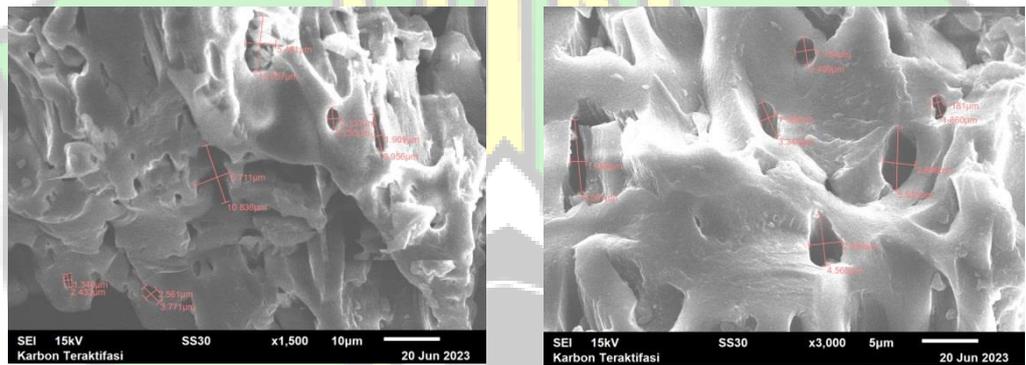
Hasil pengujian menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) penyerapan karbon terhadap logam Pb dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel IV.4 Data Efisiensi Penyerapan Logam Pb oleh Adsorben Karbon

Jenis Karbon Aktif	Waktu Kontak (Menit)	Berat karbon (g)	Konsentrasi Sisa (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi Penyerapan (%)
Tampa modifikasi	60	0,5	3,49	0,34	33
Asam sitrat 0,4 M	60	0,5	3,23	0,4	38
Asam sitrat 0,6 M	60	0,5	2,63	0,52	49
Asam sitrat 0,8 M	60	0,5	3,13	0,42	40

Konsentrasi Awal Pb : 5,23 mg/L

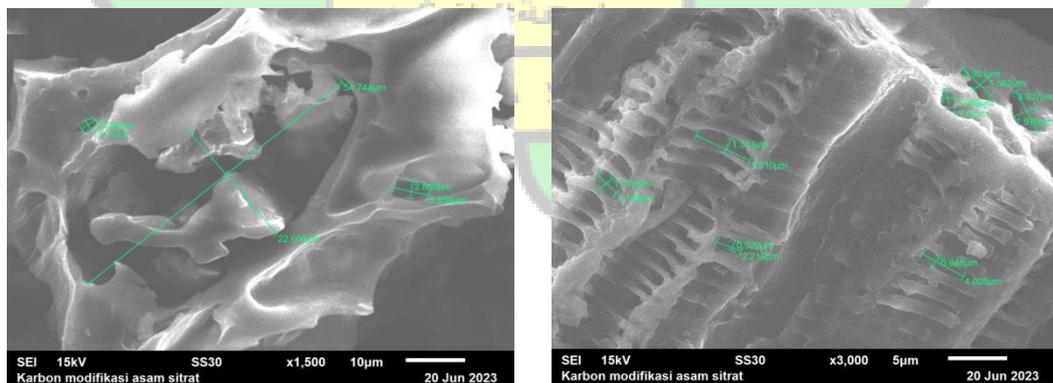
Hasil uji *Scanning Elektron Mikroskope* (SEM) pada karbon aktif biji asam jawa dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



(a) Perbesaran 1500x

(b) Perbesaran 3000x

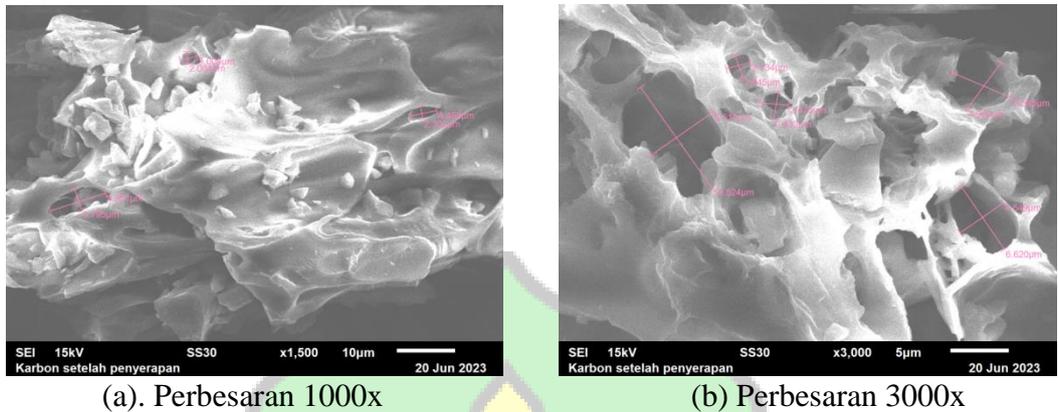
Gambar IV.4 Karbon Teraktivasi asam fosfat 2 N



(a) Perbesaran 1000x

(b) Perbesaran 3000x

Gambar IV.5 Karbon Modifikasi Asam Sitrat 0,6 M



Gambar IV.6 Karbon Setelah Proses Adsorpsi Logam Pb

IV. 2 Pembahasan

IV. 2.1. Preparasi Karbon

Sampel penelitian berupa biji asam jawa yang berasal dari Aceh Besar. Biji asam jawa terlebih dahulu dibersihkan dari pengotor dan dikeringkan ke dalam oven pada suhu 120°C selama 24 jam untuk mengurangi kadar air didalamnya. Selanjutnya diubah menjadi karbon dengan pemanasan dalam *furnace* 280°C selama 15 menit. Karbonisasi dilakukan dengan suhu 280°C karena pada temperatur tersebut terjadi degradasi termal dimana terjadi pemutusan ikatan C-O dan C-C pada struktur selulosa (Kristianto., 2017). Biji asam jawa yang sudah menjadi karbon dihaluskan menggunakan alu dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Tujuan dari proses ayakan ini untuk memperoleh ukuran partikel adsorben yang paling kecil. Menurut Widayatno (2017) salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi adalah ukuran partikel adsorben. Semakin kecil ukuran adsorben, maka semakin luas. Hal ini akan meningkatkan kemampuan adsorpsi karena lebih banyak zat yang dapat menempel pada permukaan karbon aktif.

IV. 2.2. Pembuatan Karbon Aktif Termodifikasi Asam Sitrat

Karbon yang dihasilkan kemudian diaktivasi menggunakan asam fosfat 2 N. Proses aktivasi karbon bertujuan untuk mengaktifkan situs aktif yang sebelumnya tidak aktif menjadi aktif. Aktivator asam fosfat 2 N dipilih pada

penelitian ini merujuk pada penelitian Jayanti (2015) yang melakukan penelitian adsorben karbon biji asam jawa sebagai penyerapan logam Pb menggunakan variasi aktivator asam fosfat 2, 4 dan 6 N menunjukkan bahwa penyerapan logam Pb yang terbaik terjadi pada konsentrasi 2 N. Kemudian karbon dipanaskan menggunakan *hot plate* dengan temperatur 80 °C dengan kecepatan 400 rpm selama 2 jam. Metode ini berfungsi untuk mendegradasi molekul organik selama proses karbonisasi agar terhindar dari pembentukan tar, membantu menguraikan senyawa organik, dehidrasi air yang terperangkap dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang terbentuk dan melindungi permukaan karbon dari kerusakan (Alfiany dkk., 2013). Setelah itu sampel dibilas dengan akuades sampai pH netral yang berfungsi untuk menghilangkan senyawa asam pada karbon. Kemudian karbon aktif dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 110°C selama 3 jam.

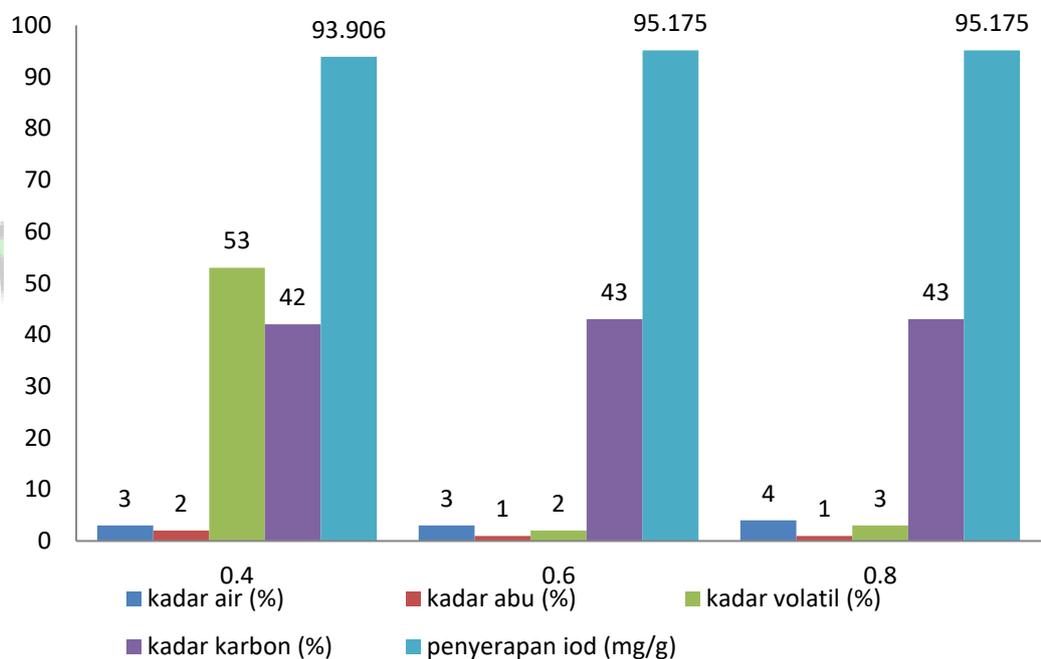
Karbon aktif kemudian dimodifikasi menggunakan asam sitrat bertujuan untuk meningkatkan gugus aktif dalam karbon. Keasaman asam sitrat berasal dari tiga gugus karboksil $-COOH$ yang dapat melepas proton dalam larutan, sehingga memiliki kemampuan untuk mengikat ion-ion logam sehingga dapat digunakan untuk mengadsorp logam berat (Anggari., 2016). Perlakuan asam dapat menghilangkan gugus hidroksil dan menghasilkan sejumlah besar gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan karbon. Jumlah gugus fungsi yang bersifat asam berkaitan erat dengan kemampuan karbon aktif untuk menyerap senyawa logam. Kehadiran gugus fungsi permukaan mempengaruhi kapasitas adsorpsi sampel yang dihasilkan untuk menghilangkan logam berat. Modifikasi karbon aktif menggunakan variasi konsentrasi asam sitrat 0,4 M 0,6 M dan 0,8 M. Diharapkan dengan meningkatkan konsentrasi asam sitrat jumlah dan jenis gugus aktif yang terbentuk akan meningkat.

Hasil rendemen karbon aktif dapat dilihat pada tabel IV.1 pada karbon teraktivasi dan dimodifikasi dengan variasi konsentrasi asam sitrat menghasilkan rendemen 96-98%. Namun hasil dari karbon aktif tersebut tidak jauh berbeda, sehingga dapat dikatakan bahwa aktivasi dengan asam

fosfat dan modifikasi asam sitrat tidak berpengaruh pada hasil rendemen karbon aktif. Semakin tinggi persentase rendemen yang dihasilkan, maka karbon aktif tersebut akan menjadi semakin baik.

IV. 2.3. Karakterisasi Mutu Karbon aktif Berdasarkan (SNI 0637-1995)

Karakterisasi mutu karbon aktif uji pada SNI dengan parameter yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon dan penyerapan iodin. Data pembandingan mutu karbon aktif dengan variasi asam sitrat dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar IV.7 Grafik Karakterisasi Hasil Uji SNI

Keterangan : Penyerapan iod x 10 mg/g

1. Kadar air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat dalam karbon aktif agar sesuai standar yang telah ditetapkan. Tujuan dari penetapan kadar air adalah untuk mengetahui tingkat higroskopis dari karbon aktif (Verayana dkk., 2018). Pengujian kadar air ini menggunakan metode gravimetri yakni dengan menghitung kuantitas atau jumlah sampel

berdasarkan perhitungan selisih berat zat. Pada tabel IV.4 dapat dilihat bahwa kadar air yang diperoleh dari karbon aktif dimodifikasi dengan variasi konsentrasi asam sitrat yang berbeda memiliki kadar air yang rendah berkisar 3-4 % dan hasil tersebut memenuhi standar SNI 0637-1995 kadar air maksimum adalah 15%. Menurut Erawati dkk (2018) saat proses aktivasi aktivator yang bersifat asam menyebabkan kerusakan kompleks pada oksigen dalam karbon sehingga kandungan air dalam karbon menjadi berkurang. Semakin rendah kadar air menunjukkan bahwa lebih sedikit air yang tertinggal dan menutupi pori-pori karbon aktif.

2. Kadar Abu

Abu adalah oksida-oksida logam dalam karbon yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap (*non-volatile*) pada proses pengabuan. Kandungan abu sangat berpengaruh pada kualitas karbon aktif. Menurut Siahaan dkk., (2013) Abu diasumsikan sebagai sisa mineral yang tertinggal setelah sebagian mineralnya hilang pada saat karbonisasi dan aktivasi, sebagian mineral masih tertinggal dalam karbon aktif. Bahan alam untuk pembuatan karbon aktif tidak hanya mengandung senyawa karbon tetapi juga mengandung beberapa mineral. Berdasarkan tabel IV.4 dapat dilihat bahwa kadar abu yang diperoleh dalam penelitian ini berkisar 1-2 % dan hasil tersebut memenuhi standar SNI 0637-1995 bahwa kadar abu maksimum 10%. Semakin rendah kadar abu dalam produksi karbon aktif maka tingkat kemurnian karbon aktif yang dihasilkan akan semakin tinggi. Jumlah kadar abu yang terkandung dalam karbon aktif dapat mempengaruhi kemampuan karbon aktif untuk menyerap zat dari larutan karena mineral-mineral seperti kalsium, kalium, magnesium dan natrium akan menyebar dalam kisi-kisi karbon aktif. Keberadaan abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori sehingga luas permukaannya semakin berkurang (Verayana dkk., 2018).

3. Kadar Volatil (Zat Menguap)

Kadar zat mudah menguap dihasilkan dari pemecahan zat-zat penyusun karbon selama proses pemanasan dalam karbonisasi dan bukan komponen penyusun karbon. Tujuan penentuan kadar zat mudah menguap adalah untuk

mengetahui jumlah zat atau senyawa yang belum menguap pada proses karbonisasi terdiri atas gas-gas yang mudah terbakar, seperti hidrogen dan karbon monoksida. Kadar zat mudah menguap dipengaruhi adanya senyawa non karbon yang menempel pada permukaan karbon aktif, Senyawa non karbon ini bertindak sebagai pengotor yang menutupi pori-pori dari karbon aktif, sehingga mengurangi efektifitasnya dalam menyerap limbah di dalam air (Suherman dkk., 2021). Pada tabel IV.4 pengujian zat menguap berkisar antara 52% - 53% , dimana semua adsorben tidak memenuhi standar SNI yang ditetapkan yakni maksimal 25%. Tingginya kadar zat menguap ini disebabkan karbon aktif memiliki struktur pori yang memberikan banyak ruang dan memberikan jalur pergerakan bagi zat yang menguap melalui pori-pori karbon aktif.

4. Kadar Karbon

Kadar karbon merupakan banyaknya karbon terikat dalam karbon aktif tersebut. Kadar karbon tertinggi diperoleh dari sampel dengan modifikasi asam sitrat 0,6 M dan 0,8 M sebesar 43%. Sedangkan kadar karbon terendah pada sampel dengan modifikasi asam sitrat 0,4 M yaitu sebesar 42 %. Besar kecilnya kadar karbon ini dipengaruhi oleh jumlah kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap pada sampel. Berdasarkan standar kualitas untuk arang aktif SNI 06-3730-1995 untuk kadar karbon adalah minimal 65%. Dimana pada penelitian ini persentase kadar karbon masih berada di bawah standar yang ditetapkan.

5. Penyerapan Iodin

Pengujian kualitas daya serap terhadap iodium bertujuan untuk mengetahui kemampuan karbon aktif dalam menyerap larutan berwarna. Uji daya serap menggunakan larutan iodium berfungsi sebagai adsorbat yang akan diserap oleh karbon aktif. Semakin tinggi bilangan iodnya maka semakin tinggi kemampuan karbon aktif dalam menyerap adsorbat. Oleh karena itu, penyerapan iodium merupakan indikator penting dalam menilai kualitas karbon aktif. Hasil daya serap terhadap larutan iodium menunjukkan kemampuan karbon aktif menyerap zat. Karbon aktif dengan kemampuan menyerap iod yang tinggi hal ini menunjukkan bahwa karbon tersebut

memiliki luas permukaan yang lebih besar dan juga memiliki struktur mikro dan pori yang lebih besar (Permatasari dkk., 2014).

Berdasarkan tabel IV 4 dapat diamati pada karbon aktif yang dimodifikasi asam sitrat dengan variasi konsentrasi berbeda menunjukkan bahwa daya serap yang terendah pada karbon aktif dengan konsentrasi modifikasi asam sitrat 0,4 M sebesar 939,06 mg/g dan daya serap tertinggi pada konsentrasi modifikasi asam sitrat 0,6 M dan 0,8 M yaitu sebesar mg 951,75 mg/g. Bila dibandingkan daya serap iod pada ketiga karbon aktif tersebut telah memenuhi standar dari uji daya serap dengan iod yang telah ditetapkan nilai penyerapan minimal 750 mg/g. Semakin tinggi daya serap karbon aktif terhadap zat Iod, maka semakin baik karbon aktif tersebut. Selain itu, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara karbon dengan variasi konsentrasi yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi asam sitrat tidak mempengaruhi kemampuan karbon aktif dalam menyerap zat iod.

IV. 2.4. Adsorpsi Logam Berat Pb

Proses adsorpsi untuk menghilangkan logam Pb terdiri dari adsorpsi fisika dan adsorpsi elektrostatis. Adsorpsi secara fisika terjadi ketika suatu adsorbat menempati pori dari adsorben. Keefektifan adsorpsi fisik dipengaruhi oleh ukuran dan luas permukaan adsorben. Sementara adsorpsi elektrostatis terjadi karena adanya gaya tarik antara adsorben dengan adsorbat, sehingga adsorbat hanya menempel pada permukaan adsorben. Pada tabel IV.3 menunjukkan bahwa kemampuan karbon dari biji asam jawa teraktivasi asam fosfat 2 N menurunkan konsentrasi Pb sebesar 0,34 mg/g dengan efisiensi penyerapan 33%. Karbon aktif biji asam jawa yang dimodifikasi menggunakan asam sitrat memiliki kemampuan penyerapan logam Pb lebih tinggi daripada karbon aktif tanpa modifikasi. Hasil tersebut sesuai dengan pengujian morfologi permukaan menggunakan SEM yang dapat dilihat pada gambar IV 4 dan IV 5.

Penyerapan terbaik ditemukan pada adsorben dimodifikasi asam sitrat dengan konsentrasi 0,6 M kapasitas penyerapannya mencapai 0,52 mg/g dan efisiensi penyerapan sebesar 49%. Hal ini disebabkan pada gugus pengikat logam karbon aktif yang dimodifikasi terjadi interaksi antara Pb^{2+} dan adsorben karena adanya gaya elektrostatis antara muatan negatif adsorben yang bertindak sebagai situs aktif dengan muatan positif dari ion logam. Saat adsorpsi berlangsung dalam medium air, gugus fungsional $-COOH$ dan $-OH$ akan terprotonasi sehingga memiliki muatan negatif sehingga lebih cenderung berikatan dengan Pb^{2+} . Sedangkan pada konsentrasi 0,8 M mengalami penurunan dengan kapasitas penyerapan sebesar 0,42 mg/g dan efisiensi penyerapan sebesar 40%. Menurut Wang dkk., (2015) modifikasi karbon menggunakan asam sitrat pada konsentrasi tinggi menyebabkan karbon terdegradasi struktural merusak pori-pori yang sudah terbentuk sehingga tingkat penyerapannya menurun.

IV. 2.5. Karakterisasi Karbon Menggunakan FTIR

Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung dalam karbon mulai dari 400 cm^{-1} sampai 4000 cm^{-1} . Spektra karbon biji asam jawa dapat dilihat pada gambar IV.2 menunjukkan puncak serapan pada bilangan $3329-3377\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus O-H (hidroksil). Didukung dengan penampakan gugus C-O *stretching vibration* yang terikat pada ester dengan luas serapan $1157-1199\text{ cm}^{-1}$ dan $1213-1214\text{ cm}^{-1}$ yang muncul di area *fingerpint* yang mengindikasikan adanya gugus karboksilat. Pada puncak serapan pada bilangan gelombang $2922-2923\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus C-H *stretching band* diasumsikan pada biji asam jawa tersusun dari alkohol, ester, aromatik dan eter. Seperti yang dinyatakan Yulianti (2019) bahwa pada gelombang $2921-2929\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya *stretching band* C-H untuk sp^3 yang menunjukkan adsorben tersusun dari alkohol, ester, aromatik dan eter. Spektra dari sampel yang lainnya pada panjang gelombang yang berhubungan dengan gugus fungsi *stretching vibration* C-H tetap muncul pada range yang sama. Hal ini dimungkinkan gugus C-H tetap ada meskipun telah diaktivasi

dan modifikasi. Pada gelombang 1711-1742 cm^{-1} terdapat gugus khas pada karbon aktif yaitu gugus C=O (karbonil) yang menunjukkan bahwa biji asam jawa membentuk zat aktif karbon (Rizki dkk., 2019). Pada bilangan gelombang 1578-1591 cm^{-1} hal ini menunjukkan terbentuknya ikatan C=C *aromatic stretching vibration* yang merupakan senyawa khas dari karbon aktif.

Berdasarkan analisis spektrum FTIR, dapat diperoleh informasi mengenai gugus fungsi pada permukaan karbon aktif. Karbon aktif yang dihasilkan memiliki pola serapan dengan jenis ikatan OH, C-H, C-O, dan C=C. Adanya ikatan OH dan C-O menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan cenderung bersifat lebih polar (Wibowo dkk., 2011). Permukaan karbon aktif mengandung kelompok fungsi polar, seperti -OH (hidroksil) dan -COOH (asam karboksilat), memiliki muatan negatif karena atom oksigen yang lebih elektronegatif. Hal ini memungkinkan terjadinya interaksi elektrostatik dengan senyawa bermuatan positif seperti logam Pb^{2+} yang menjadi target dalam proses penyerapan. Ketika karbon aktif berinteraksi dengan senyawa bermuatan positif, muatan negatif di permukaan karbon aktif akan menarik muatan positif dari senyawa tersebut. Interaksi elektrostatik yang kuat ini memudahkan penyerapan senyawa yang bermuatan positif pada permukaan karbon aktif.

IV. 2.6. Karakterisasi SEM pada Morfologi Permukaan Karbon Aktif

Analisa morfologi pori karbon biji asam jawa teraktivasi, modifikasi asam sitrat dan setelah proses penyerapan logam Pb dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 1000x dan 3000x. Tujuan dari penggunaan SEM adalah untuk mengetahui perbedaan bentuk permukaan pori dari karbon biji asam jawa teraktivasi dan termodifikasi. Dalam penelitian ini karakterisasi menggunakan SEM JEOL 6510LA. Struktur permukaan pori adalah salah satu elemen penting yang mempengaruhi kapasitas suatu adsorben dalam melakukan adsorpsi. Adanya pori-pori pada karbon aktif dapat meningkatkan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat karena pori tersebut merupakan celah yang memperluas

permukaan karbon aktif (Verayana., 2018). Karbon aktif yang diuji merupakan karbon aktif terbaik berdasarkan daya penyerapan dengan konsentrasi asam sitrat 0,6 M dan setelah proses adsorpsi logam berat Pb.

Berdasarkan analisis menggunakan SEM setelah penambahan asam fosfat morfologi permukaan karbon memiliki struktur pori-pori yang terbuka dan lebih beraturan. Hal ini dikarenakan selama proses aktivasi asam fosfat akan berinteraksi dengan karbon dan menghilangkan zat pengotor atau mineral-mineral yang terkandung dalam karbon. Menurut Eso dkk (2021) asam fosfat memiliki stabilitas termal dan sifat kovalen yang sangat kuat. selain itu, ketika karbon diaktivasi dengan asam fosfat akan menyebabkan peningkatan jumlah pori-pori pada permukaan. Pada karbon aktif yang dimodifikasi asam sitrat 0,6 M mengalami perubahan yang signifikan. Pori-pori permukaan menjadi lebih besar dan banyak. Asam sitrat membantu membuka pori-pori yang belum terbuka selama proses aktivasi. Zat asam memiliki kemampuan mengikat air lebih baik untuk melarutkan zat-zat organik dan anorganik yang terikat dalam material karbon sehingga menghasilkan karbon dengan pori-pori yang lebih bersih dan terbuka. Semakin besar pori-porinya maka luas permukaan karbon aktif juga semakin meningkat (Fanani dkk., 2019). Sedangkan pada karbon biji asam jawa setelah proses adsorpsi permukaan morfologi pori tampak permukaan karbon lebih kasar.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian, maka dapat disimpulkan:

1. Karakteristik karbon aktif yang diperoleh dari biji asam jawa telah memenuhi (SNI 06-3730-1995) kecuali kadar zat volatil dan kadar karbon dengan nilai kadar air 3-4 %, kadar abu 1-2%, kadar volatil sebesar 52-53%, kadar karbon sebesar 42-43% dan kadar penyerapan iodin 939,06-951,75 mg/g. Analisa morfologi pada karbon aktif diperoleh pori-pori yang berbentuk lebih banyak dan membentuk rongga-rongga pori dengan kedalaman yang besar. Hasil identifikasi dengan FTIR menunjukkan bahwa karbon aktif mengandung gugus fungsi O-H, C-H, C=O, C=C, dan C-O.
2. Karbon biji asam jawa aktif yang termodifikasi asam sitrat mampu menyerap logam Pb dengan hasil terbaik pada konsentrasi asam sitrat 0,6 M kapasitas penyerapan sebesar 0,52 mg/g dan persentase penyerapan sebesar 49%.

V.2 Saran

Penelitian masih perlu dikembangkan dengan memvariasikan waktu kontak dan variasi konsentrasi adsorbat untuk mengetahui daya adsorpsi optimum dalam penyerapan logam Pb.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. A., Al-Raggad, M., & Shareef, N. (2021). Production of Activated Carbon Derived from Agricultural By-Products Via Microwave-Induced Chemical Activation: A Review. *Carbon Letters*, 31(5), 957-971
- Alfiany, H., Bahri, S., & Nurakhirawati, N. (2013). Kajian penggunaan arang aktif tongkol jagung sebagai adsorben logam Pb dengan beberapa aktivator asam. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 2(3).
- Azmiyani, U. (2018). *Adsorpsi Logam Fe dan Cu Menggunakan Biosorben Batang Jagung Termodifikasi Asam Sitrat pada Limbah Laboratorium UIN Maulana Malik Ibrahim Malang* (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Anggari, W. (2016). Pemanfaatan Daun Matoa (*Pometia pinnata*) Sebagai Adsorben Ion Logam Tembaga (Cu) Dalam Air Menggunakan Aktivator Asam Sitrat.
- Astuti, W., & Kurniawan, B. (2015). Adsorpsi Pb^{2+} Dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Sistem Adsorpsi Kolom Dengan Bahan Isian Abu Layang Batubara Serbuk dan Granular. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(1), 27-33.
- Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M., & Sillanpää, M. (2013). An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal*, 219, 499-511.
- Didik, L. A., Rahmawati, E., Robiandi, F., Rahayu, S., & Santjojo, D. J. D. H. (2014). Penentuan Ketebalan Lapisan Polistiren dan Zinc Phthalocyanine (ZnPc) dengan Modifikasi Persamaan Sauerbrey dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Natural B*, 2(4), 331-335.
- El-Siddig, K. (2006). *Tamarind: Tamarindus Indica L* (Vol. 1). Crops For The Future.
- Eso, R, Luvi & Ririn. (2021). Efek Variasi Konsentrasi Zat Aktivator H_3PO_4 Terhadap Morfologi Permukaan dan Gugus Fungsi Karbon Aktif Cangkang Kemiri. *Gravitasi*, 20(1), 19-23.
- Erawati, E., & Fernando, A. (2018). Pengaruh jenis aktivator dan ukuran karbon aktif terhadap pembuatan adsorben dari serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses*, 7(2), 58-66.
- Fibrianti, L. D., & Azizah, R. (2015). Karakteristik, Kadar Timbal (Pb) dalam Darah, dan Hipertensi Pekerja Home Industry Aki Bekas di Desa

- Talun Kecamatan Sukodadi Kabupaten Lamongan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1), 92-102. Vol. 8, No. 1, 92–102.
- Fanani, N., & Ulfindrayani, I. F. (2019, September). Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah bambu Menggunakan Aktivator Asam Fospat (H_3PO_4). In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 1, No. 1, pp. 741-746).
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivator H_3PO_4 untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 3(1), 5-10.
- Gati, P. K. (2019). *Preparasi Biji Asam Jawa (Tamarindus Indica L.) sebagai Material Adsorben melalui Metode Aktivasi Uap Air* (Doctoral Dissertation, Universitas Brawijaya).
- Hanum, F., Gultom, R. J., & Simanjuntak, M. (2017). Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru dengan Karbon Aktif dari Kulit Durian menggunakan KOH dan NaOH sebagai Aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), 49-55.
- Haura, U., Razi, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya pada Adsorpsi Logam Pb (II) dan Cr (VI)- (Adsorbent Characterization from Mangosteen Peel and Its Adsorption Performance on Pb (II) and Cr (VI)). *Biopropal Industri*, 8(1), 47-54.
- Harahap, A. D. H., Verantika, F., Fahmi, N. Y., & Tanjung, A. P. (2017, January). Penyerapan Ion Logam Mangan (Mn) menggunakan Adsorben dari Sekam Padi Hasil Aktivasi dengan Asam Sitrat. In *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana Unsyiah*.
- Irviyanti, A. S. (2019). *Modifikasi Batang Jagung Menggunakan Asam Sitrat sebagai Biosorben Methylene Blue* (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Jayanti, S., & Sumarni, N. K. (2015). Kajian Arang Aktif Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica Linn*) Menggunakan Aktivator H_3PO_4 Pada Penyerapan Logam Timbal. *Jurnal Riset Kimia*, 1(1), 13-19.
- Kristianto, H. (2017). Sintesis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia $ZnCl_2$. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), 104-111.
- Kar, D., Sur, P., Mandai, S. K., Saha, T., & Kole, R. K. (2008). Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Water. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(1), 119-124.
- Lempong, M. (2014). Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif. *Buletin Eboni*, 11(2), 65-80.
- Meilianti, M. (2017). Karakteristik Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet menggunakan Aktivator H_3PO_4 . *Jurnal Destilasi*, 2(2), 1-9.
- Mulana, F., Muhammad, S., Nurmaida, A. L., & Sukma, W. A. (2018). Pengaktifan Kulit Asam Jawa dengan Campuran Asam Sitrat dan

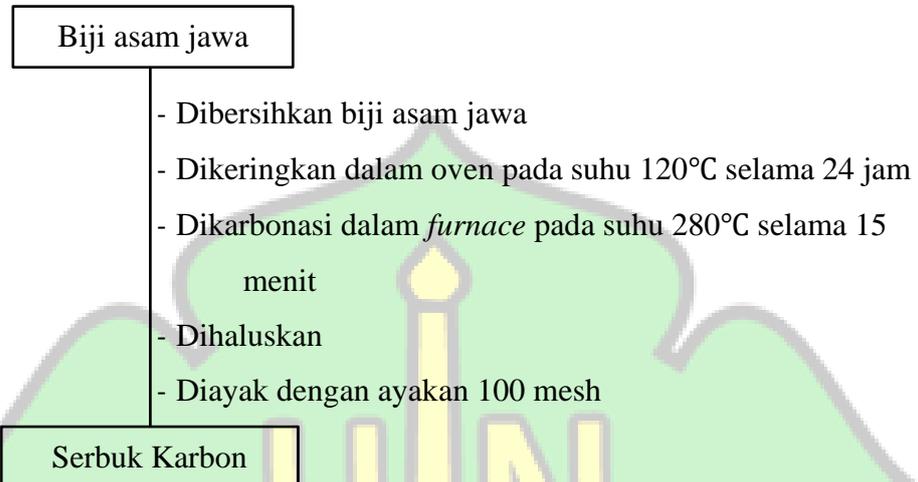
- Asam Tartarat untuk Penyerapan Ion Logam Cd (II). *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(2), 135-143.
- Maslukah, L., Wulandari, S. Y., Herlintang, A. S., & Muslim, M. (2019). Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Sedimen Dasar dan Keterkaitannya dengan Karbon Organik & Ukuran Butir di Muara Wiso, Jepara. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 11(2), 79-86.
- Maghfirana, C.A. (2019). *Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong Terhadap Logam Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Kontinyu* (Doctoral dissertation, UIN Sunan Ampel Surabaya).
- Noriyanti, T. (2012). Analisis Kalsium, kadmium dan Timbal pada Susu Sapi Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia*.
- Permadi, M. I. (2019). *Pemanfaatan Bambu Air (Equisetum Sp.) Untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Menggunakan Fitoremediasi Sistem Batch*. Tugas Akhir, UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Permatasari, A. R., Khasanah, L. U., & Widowati, E. (2014). Karakterisasi karbon aktif kulit singkong (Manihot utilissima) dengan variasi jenis aktivator. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 7(2), 70-75.
- Rahmawati, A. (2020). *Adsorpsi logam timbal (pb) menggunakan adsorben eceng gondok (Eichhornia Crassipes) termodifikasi asam sitrat* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Rizki, A., Syahputra, E., & Pandia, S. (2019). Pengaruh Waktu Kontak dan Massa Adsorben Biji Asam Jawa (Tamarindus Indica) Dengan Aktivator H₃PO₄ Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 8(2), 54-60.
- Rahim, H., Ardhaifa, W., & Rachma, R. (2022). Analisis Kualitas Arang Aktif dari Biji Kapuk sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu) dalam Limbah Cair Industri. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1(1), 14-17.
- Siahaan, S., Hutapea, M., & Hasibuan, R. (2013). Penentuan kondisi optimum suhu dan waktu karbonisasi pada pembuatan arang dari sekam padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 26-30.
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011). Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif. *Info-Teknik*, 12(1), 11-20.
- Suherman, S., Hasanah, M., Ariandi, R., & Ilmi, I. (2021). Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Karakteristik Dan Mikrostruktur Karbon Aktif Pelepeh Kelapa Sawit. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 16(1), 1-9.
- Siringo-Ringo, E. P. (2019). Pengaruh Waktu Kontak, pH dan Dosis Adsorben Dalam Penurunan Kadar Pb Dan Cd Menggunakan

- Adsorben Dari Kulit Pisang. *Tugas Akhir*. Universitas Sumatra Utara.
- Standar Nasional Indonesia. 1995. *Arang Aktif Teknis (SNI 06-370-1995)*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Setyawati, H., Rakhman, N. A., & Anggorowati, D. A. (2015). Penerapan Penggunaan Arang Aktif sebagai Adsorben Untuk Proses Adsorpsi Limbah Cair di Sentra Industri Tahu Kota Malang. *Spectra*, 13(26), 67-78.
- Sultana, M., Rownok, M. H., Sabrin, M., Rahaman, M. H., & Alam, S. N. (2022). A Review On Experimental Chemically Modified Activated Carbon To Enhance Dye And Heavy Metals Adsorption. *Cleaner Engineering And Technology*, 6, 100382.
- Syahiddin, D. S. (2016). Pengaruh Aktivasi Adsorben Biomassa Terhadap Gugus Hidroksil Pada Proses Adsorpsi Ion Logam Timbal (Pb). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(3), 7-11.
- Setianingsih, T. (2018). *Karakterisasi Pori Dan Luas Muka Padatan*. Universitas Brawijaya Press.
- Verayana, M. P., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67-75.
- Wibowo, S., Syafi, W., & Pari, G. P. (2011). Karakterisasi Permukaan Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung. *Makara Journal of Technology*, 15(1), 150718.
- Widayatno, T. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dari Limbah Cair Dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal teknologi bahan alam*, 1(1), 17-23.
- Wang, C. L., Gu, J. C., Wei, C. M., Bao, L. F., Wang, R., & Zhong, S. (2015). Research of citric acid modified adsorption of Cr (VI) properties of activated carbons. In *Materials Science Forum* (Vol. 809, pp. 901-906). Trans Tech Publications Ltd.
- Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., & Ngah, C. Z. (2015). Agricultural Bio-Waste Materials As Potential Sustainable Precursors Used For Activated Carbon Production: A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 46, 218-235.
- Yuliyanti, A., Sarah, D., & Soebowo, E. (2019). Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan Tanah Di Daerah Semarang. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 22(2), 91-103.

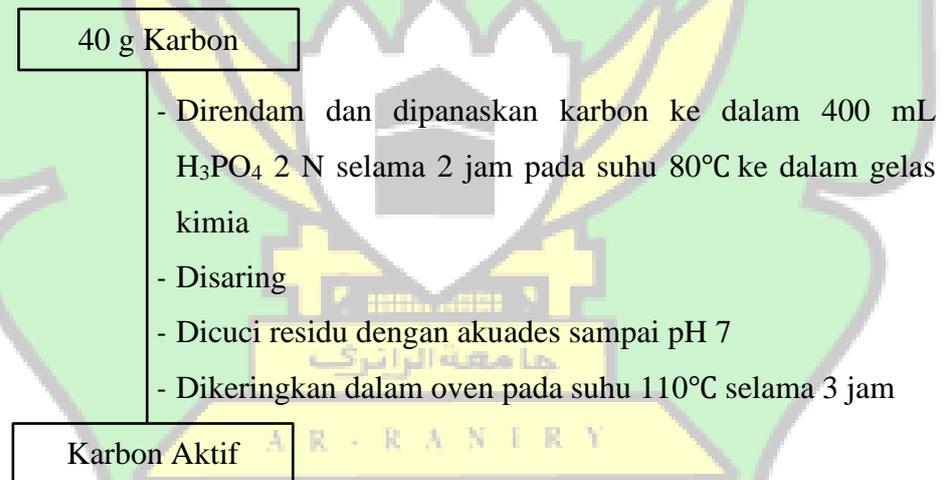
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Skema Penelitian

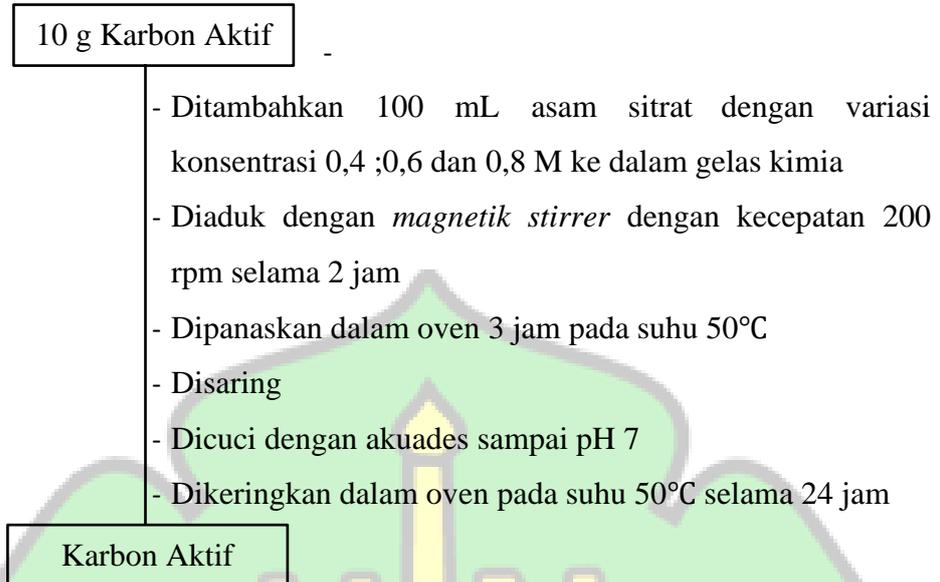
1. 1 Preparasi Biji Asam Jawa



1.2. Proses Aktivasi

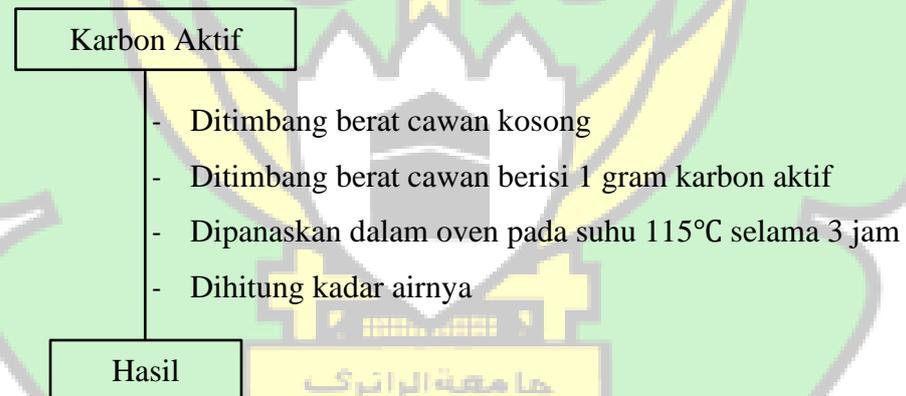


2.3. Proses Modifikasi Karbon

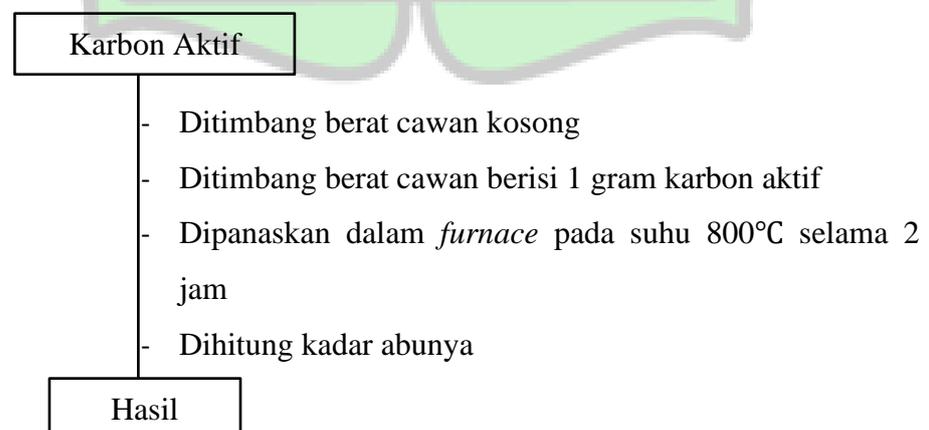


2.4. Karakterisasi Karbon Aktif Berdasarkan (SNI 06-3730-1995).

1. Penentuan Kadar Air



2. Penentuan Kadar Abu - RANIRY



3. Penentuan Kadar Zat Menguap

Karbon Aktif

- Ditimbang berat cawan kosong
- Ditimbang berat cawan berisi 1 gram karbon aktif
- Dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 950°C
- Dihitung kadar zat menguapnya

Hasil

4. Daya Serap Iodin

Karbon Aktif

- Dipanaskan karbon pada suhu 115 selama 1 jam
- Didinginkan dalam desikator 30 menit
- Ditambahkan 0,5 karbon aktif ditambahkan 50 mL larutan iod 0,1 N
- Diaduk selama 15 menit dan diamkan selama 1 jam
- Diambil 10 mL larutan filtrat dan tambahkan 1 mL larutan amilum 1%
- Dititrasi dengan natrium tiosulfat 0,1 N sampai warna biru hilang

Hasil

5. Proses Penyerapan Logam Pb Menggunakan Karbon Termodifikasi

Karbon Aktif

- Dimasukkan ke dalam erlenmeyer 125 mL 0,5 gram karbon aktif
- Ditambahkan 100 mL larutan Pb 5,23 mg/L
- Di *magnetic stirrer* dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 60 menit
- Diukur fitratnya dengan AAS

Hasil Pengukuran

Lampiran 2. Pembuatan Larutan

2.1 Larutan Asam Fosfat 85 % → 2 N dalam labu takar 100 mL

$$N = \frac{\% \times \rho \times 10}{Mr} \times \text{valensi}$$

$$N = \frac{85 \times 1,88 \text{ g/cm}^3 \times 10}{98} \times 3$$

$$N = 48,9$$

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 48,9 \text{ N} = 100 \text{ mL} \times 2 \text{ N}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

2.3. Larutan Asam Sitrat 0,4 M

$$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{V \text{ (mL)}}$$

$$0,4 = \frac{g}{192} \times \frac{1000}{100}$$

$$0,4 = \frac{g}{192} \times 10$$

$$10 \text{ g} = 0,4 \times 192$$

$$g = 7,68 \text{ gram}$$

2.4. Larutan Asam Sitrat 0,6 M

$$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{V \text{ (mL)}}$$

$$0,6 = \frac{g}{192} \times \frac{1000}{100}$$

$$0,6 = \frac{g}{192} \times 10$$

$$10 \text{ g} = 0,6 \times 192$$

$$g = 11,52 \text{ gram}$$

2.5. Larutan Asam Sitrat 0,8 M

$$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{V \text{ (mL)}}$$

$$0,8 = \frac{g}{192} \times \frac{1000}{100}$$

$$0,8 = \frac{g}{192} \times 10$$

$$10 \text{ g} = 0,8 \times 192$$

$$g = 15,36 \text{ gram}$$

**2.6 Larutan Sampel Adsorbat Pb 100 mg/L → 5 ppm dalam labu takar
500 mL**

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

$$V_1 \times 100 \text{ mg/L} = 500 \text{ mL} \times 5 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

**2.7 Larutan Standar Pb 10 mg/L 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; dan 5 mg/L dalam 50 mL
labu takar**

1. Konsentrasi 1 mg/L dalam 50 mL

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

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 50 \text{ mL} \times 1 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

2. Konsentrasi 2 mg/L dalam 50 mL

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

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 50 \text{ mL} \times 2 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

3. Konsentrasi 3 mg/L dalam 50 mL

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

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 50 \text{ mL} \times 3 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 15 \text{ mL}$$

4. Konsentrasi 4 mg/L dalam 50 mL

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

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 50 \text{ mL} \times 4 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

5. Konsentrasi 5 mg/L dalam 50 mL

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

$$V_1 \times 10 \text{ mg/L} = 50 \text{ mL} \times 5 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

Lampiran. 3 Perhitungan Penurunan Persamaan Garis Regresi Larutan Standar Timbal (Pb) dengan Metode Least Square

$$y = ax + b$$

keterangan :

y = absorbansi

a = slope

x = konsentrasi sampel

b = intersep

Tabel Data Hasil Pengukuran Absorbansi

No	Sampel	Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
1.	Blanko	0,0	
2.	Standar 1	1,0	0,0193
3.	Standar 2	2,0	0,0405
4.	Standar 3	3,0	0,0604
5.	Standar 4	4,0	0,0809
6.	Standar 5	5,0	0,0992
7.	Tampa Modifikasi	3,471	0,0695
8.	Termodifikasi 0,4 M	3,230	0,0647
9.	Termodifikasi 0,6 M	2,634	0,0527
10	Termodifikasi 0,8 M	3,139	0,0628

Tabel Penurunan Persamaan Garis Regresi Larutan Standar Timbal (Pb)

No	x	y	xy	x ²	y ²
1.	0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2.	1,0	0,0193	0,0193	1	37 x 10 ⁻³
3.	2,0	0,0405	0,081	4	1,6 x 10 ⁻³
4.	3,0	0,0604	0,1812	9	3,6 x 10 ⁻³
5.	4,0	0,0809	0,3236	16	6,5 x 10 ⁻³
6.	5,0	0,0992	0,496	25	9,8 x 10 ⁻³
Σ	15	0,3003	1,1011	55	0,022046

$$x = \frac{\sum x}{n} = \frac{15}{6} = 2,5$$

$$y = \frac{\sum y}{n} = \frac{0,3003}{6} = 0,05$$

$$a = \frac{n (\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n (\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{6(1,1011) - (15)(0,3003)}{6(55) - (15)^2} \\
&= \frac{6,6066 - 4,5045}{330 - 75} \\
&= \frac{2,1021}{225} \\
&= 0,0093
\end{aligned}$$

$$b = y - ax$$

$$= 0,050 - 0,009(2,5)$$

$$= 0,027$$

Maka persamaan garis regresinya adalah $y = ax + b$

$$= 0,0093x + 0,027$$

$$\begin{aligned}
R^2 &= \frac{((n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y))^2)}{(n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2)(n(\Sigma y^2) - (\Sigma y)^2)} \\
&= \frac{((6(1,1011) - (15)(0,3003))^2)}{(6(55) - (15)^2)(6(0,0220) - (0,3003)^2)} \\
&= \frac{(6,6066 - 4,5045)^2}{(330 - 225)(0,13227 - 0,09018)} \\
&= \frac{(2,1021)^2}{(105)(0,0420)} \\
&= \frac{4,4188}{4,4202} \\
&= 0,9997
\end{aligned}$$

Perhitungan Konsentrasi Logam Timbal (Pb)

1. Konsentrasi Pb pada Karbon teraktivasi

$$y = 0,02x$$

$$0,0695 = 0,02x$$

$$0,0695 = 0,02x$$

$$x = 3,4$$

2. Konsentrasi Pb pada Karbon termodifikasi asam sitrat 0,4 M

$$y = 0,02x$$

$$0,0647 = 0,02x$$

$$0,0647 = 0,02x$$

$$x = 3,2$$

3. Konsentrasi Pb pada Karbon termodifikasi asam sitrat 0,6 M

$$y = 0,02x$$

$$0,0527 = 0,02x$$

$$0,0527 = 0,02 x$$

$$x = 2,6$$

4. Konsentrasi Pb pada Karbon termodifikasi asam sitrat 0,8 M

$$y = 0,02x$$

$$0,0628 = 0,02x$$

$$0,0628 = 0,02 x$$

$$x = 3,1$$



Lampiran 4. Perhitungan Rendemen

4.1. Rendemen karbon teraktivasi H₃PO₄ 2 N

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{\text{berat karbon setelah aktivasi}}{\text{berat karbon sebelum aktivasi}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{38,47 \text{ g}}{40 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen Karbon} = 96,17\%$$

4.2. Rendemen karbon modifikasi asam sitrat 0,4 M

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{\text{berat karbon setelah modifikasi}}{\text{berat karbon sebelum modifikasi}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{9,68 \text{ g}}{10 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen Karbon} = 96,8\%$$

4.3. Rendemen karbon modifikasi asam sitrat 0,6 M

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{\text{berat karbon setelah modifikasi}}{\text{berat karbon sebelum modifikasi}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{9,83 \text{ g}}{10 \text{ g}} \times 100\%$$

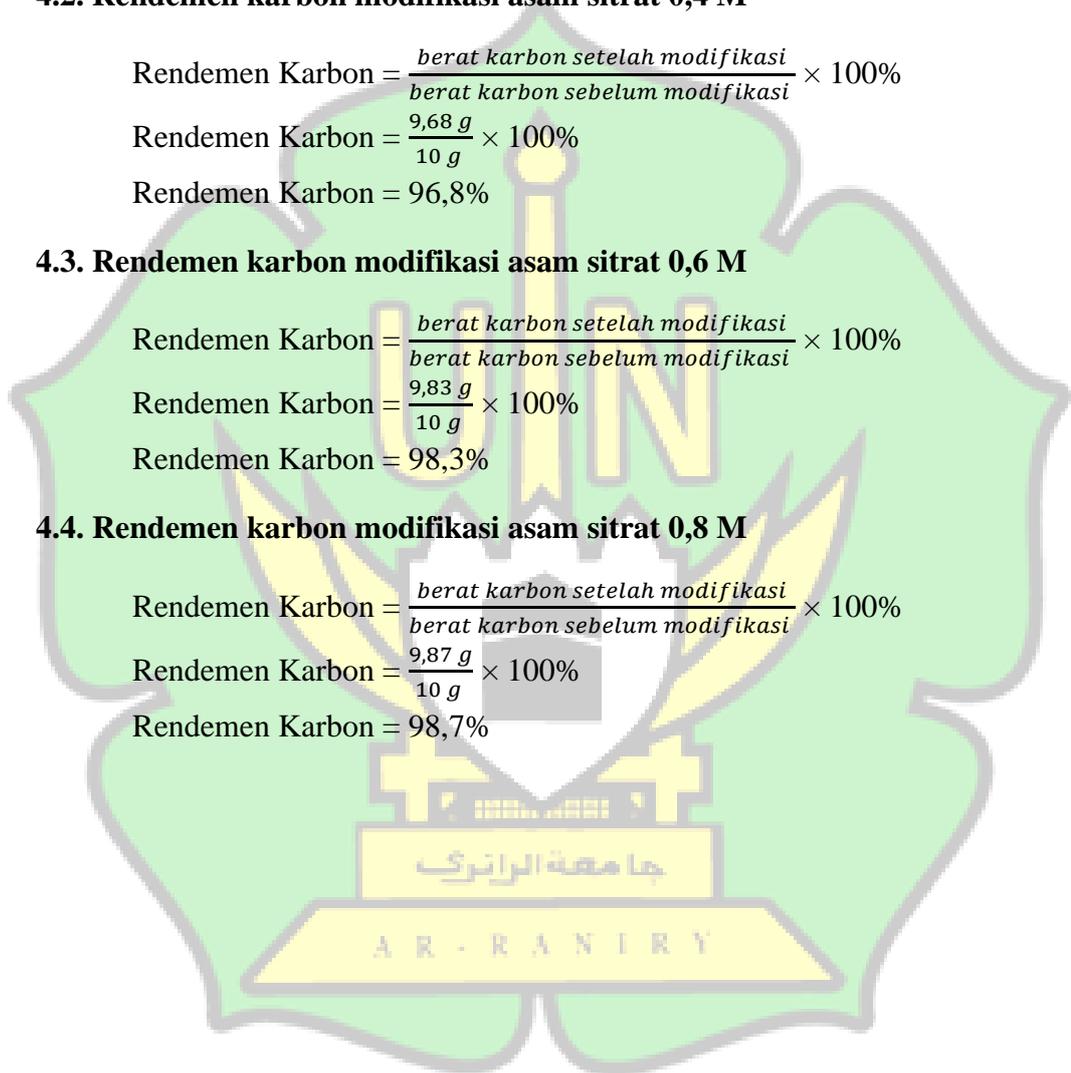
$$\text{Rendemen Karbon} = 98,3\%$$

4.4. Rendemen karbon modifikasi asam sitrat 0,8 M

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{\text{berat karbon setelah modifikasi}}{\text{berat karbon sebelum modifikasi}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen Karbon} = \frac{9,87 \text{ g}}{10 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\text{Rendemen Karbon} = 98,7\%$$



Lampiran 5. Perhitungan Hasil Uji SNI Karbon Aktif

5.1. Kadar Air

$$\begin{aligned} 1. \text{ Kadar air karbon as. sitrat 0,4 M} &= \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% \\ &= \frac{97,13 - 97,10}{97,13 - 96,13} \times 100\% \\ &= \frac{0,03}{1} \times 100\% \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Kadar air karbon as. sitrat 0,6 M} &= \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% \\ &= \frac{94,89 - 94,85}{94,89 - 93,89} \times 100\% \\ &= \frac{0,03}{1} \times 100\% \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Kadar air karbon as. sitrat 0,8 M} &= \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% \\ &= \frac{101,05 - 101,02}{101,05 - 100,05} \times 100\% \\ &= \frac{0,04}{1} \times 100\% \\ &= 4 \end{aligned}$$

5.2. Kadar abu

$$\begin{aligned} 1. \text{ Kadar abu karbon as. sitrat 0,4 M} &= \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\% \\ &= \frac{100,47 - 100,45}{101,45 - 100,45} \times 100\% \\ &= \frac{0,02}{1} \times 100\% \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Kadar abu karbon as. sitrat 0,6 M} &= \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\% \\ &= \frac{99,55 - 99,54}{100,54 - 99,54} \times 100\% \\ &= \frac{0,01}{1} \times 100\% \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Kadar abu karbon as. sitrat 0,8 M} &= \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\% \\ &= \frac{130,38 - 130,37}{131,37 - 130,37} \times 100\% \\ &= \frac{0,01}{1} \times 100\% \\ &= 1 \end{aligned}$$

5.3. Kadar volatil

$$\begin{aligned} 1. \text{ Kadar volatil karbon as. sitrat } 0,4 \text{ M} &= \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% - M_{\text{ad}} \\ &= \frac{101,47 - 100,91}{101,47 - 100,47} \times 100\% - 3 \\ &= \frac{0,56}{1} \times 100\% - 3 \\ &= 53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Kadar volatil karbon as. sitrat } 0,6 \text{ M} &= \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% - M_{\text{ad}} \\ &= \frac{100,55 - 100,00}{100,55 - 99,55} \times 100\% - 3 \\ &= \frac{0,55}{1} \times 100\% - 3 \\ &= 52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Kadar volatil karbon as. sitrat } 0,8 \text{ M} &= \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\% - M_{\text{ad}} \\ &= \frac{131,37 - 130,80}{131,37 - 130,37} \times 100\% - 4 \\ &= \frac{0,57}{1} \times 100\% - 4 \\ &= 53 \end{aligned}$$

5.4. Kadar karbon

1. Kadar karbon 0,4 M = 100 % - (2% + 3% + 53%) = 42%
2. Kadar karbon 0,6 M = 100 % - (1% + 4% + 52%) = 43 %
3. Kadar karbon 0,8 M = 100 % - (1% + 3% + 53%) = 43 %

5.5. Daya serap iodin

$$\begin{aligned} 1. \text{ Asam sitrat } 0,4 \text{ M} &= \frac{(V_1 \times N_1 - V_2 \times M_2) 126,9 \times 5}{W} \\ &= \frac{(10 \times 0,1 - 2,6 \times 0,1) 126,9 \times 5}{0,5} \\ &= \frac{0,74 \times 126,9 \times 5}{0,5} \\ &= 939,06 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Asam sitrat } 0,6 \text{ M} &= \frac{(V_1 \times N_1 - V_2 \times M_2) 126,9 \times 5}{W} \\ &= \frac{(10 \times 0,1 - 2,5 \times 0,1) 126,9 \times 5}{0,5} \\ &= \frac{0,75 \times 126,9 \times 5}{0,5} \\ &= 951,75 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Asam sitrat } 0,8 \text{ M} &= \frac{(V1 \times N1 - V2 \times M2) 126,9 \times 5}{W} \\
&= \frac{(10 \times 0,1 - 2,5 \times 0,1) 126,9 \times 5}{0,5} \\
&= \frac{0,75 \times 126,9 \times 5}{0,5} \\
&= 951,75 \text{ mg/g}
\end{aligned}$$



**Lampiran 6. Perhitungan Kapasitas dan Persentase Efisien Adsorpsi
Karbon Aktif dan Karbon Aktif Termodifikasi**

6.1 Kapasitas Adsorpsi

1. Karbon Teraktivasi

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{m} \times V$$

$$Q = \frac{5,23 - 3,49 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \times 100 \text{ mL}$$

$$Q = \frac{1,74 \text{ mg L}^{-1}}{0,5 \text{ g}} \times 0,1 \text{ L}$$

$$Q = 0,34 \text{ mg/g}$$

2. Karbon Modifikasi Asam Sitrat 0,4 M

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{m} \times V$$

$$Q = \frac{5,23 - 3,23 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \times 100 \text{ mL}$$

$$Q = \frac{2 \text{ mg L}^{-1}}{0,5 \text{ g}} \times 0,1 \text{ L}$$

$$Q = 0,4 \text{ mg/g}$$

3. Karbon Modifikasi Asam Sitrat 0,6 M

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{m} \times V$$

$$Q = \frac{5,23 - 2,63 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \times 100 \text{ mL}$$

$$Q = \frac{2,6 \text{ mg L}^{-1}}{0,5 \text{ g}} \times 0,1 \text{ L}$$

$$Q = 0,52 \text{ mg/g}$$

4. Karbon Modifikasi Asam Sitrat 0,8 M

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{m} \times V$$

$$Q = \frac{5,23 - 3,13 \text{ mg/L}}{0,5 \text{ g}} \times 100 \text{ mL}$$

$$Q = \frac{2,1 \text{ mg L}^{-1}}{0,5 \text{ g}} \times 0,1 \text{ L}$$

$$Q = 0,42 \text{ mg/g}$$

6.2. Persentase Efisien Adsorpsi

1. Karbon Teraktivasi

$$\% E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$\% E = \frac{5,23 - 3,49}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = \frac{1,74}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = 33 \%$$

2. Adsorpsi Karbon Modifikasi Asam Sitrat 0,4 M

$$\% E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \%$$

$$\% E = \frac{5,23 - 3,23}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = \frac{2}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = 38 \%$$

3. Adsorpsi Karbon modifikasi Asam Sitrat 0,6 M

$$\% E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

$$\% E = \frac{5,23 - 2,63}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = \frac{2,6}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = 49 \%$$

4. Adsorpsi Karbon modifikasi Asam Sitrat 0,8 M

$$\% E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

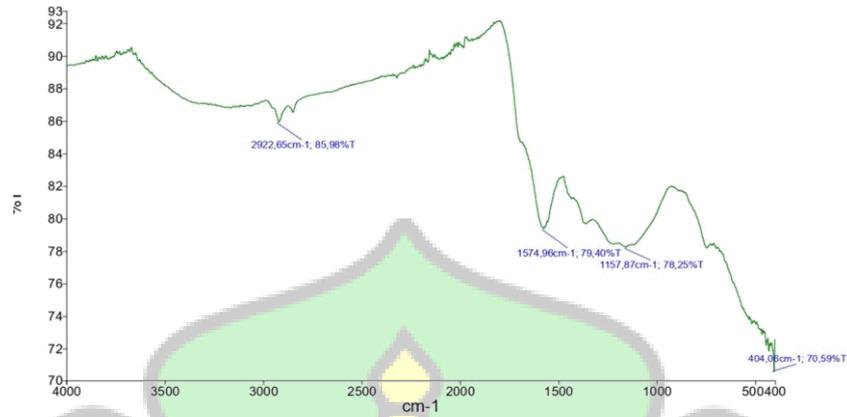
$$\% E = \frac{5,23 - 3,13}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = \frac{2,1}{5,23} \times 100\%$$

$$\% E = 40 \%$$

Lampiran 7. Spektra FTIR

7.1 Karbon Alami



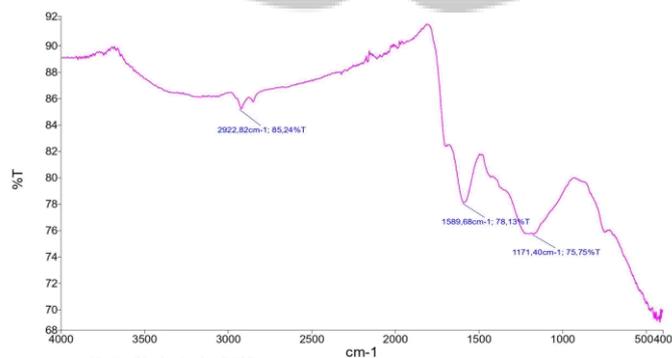
List of Peak Area/Height		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	2922.65	85.98
2	1574.96	79.40
3	1157.87	78.25
4	404.06	70.59

7.2 Karbon Teraktivasi



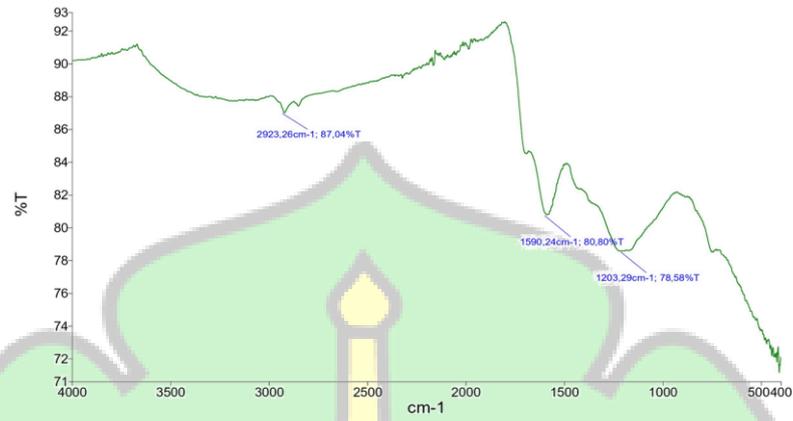
List of Peak Area/Height		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	2923.21	84.67
2	1591.07	77.65
3	1214.37	75.32

7.3 Karbon Termodifikasi Asam Sitrat 0,4 M



List of Peak Area/height		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	2922.82	85.24
2	1589.68	78.13
3	1171.40	75.75

7.4 Karbon Termodifikasi Asam Sitrat 0,6 M



List of Peak Area/Height		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	2923.26	87.04
2	1590.24	80.80
3	1203.29	78.58

7.5 Karbon Termodifikasi Asam Sitrat 0,8 M



List of Peak Area/Height		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	2923.26	87.04
2	1590.24	80.80
3	1203.29	78.58

Lampiran 8. Dokumentasi Pembuatan Karbon Aktif

Gambar	Keterangan
	<p>Biji asam jawa yang sudah dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 24 jam</p>
	<p>Biji asam jawa setelah proses karbonisasi dalam <i>furnace</i> pada suhu 280°C selama 15 menit</p>
	<p>Hasil karbon setelah proses penghalusan dan pengayakan 100 <i>mesh</i></p>
	<p>Proses aktivasi karbon menggunakan H_3PO_4 2 N dengan temperatur pemanasan 80°C selama 2 jam</p>



Modifikasi karbon aktif dengan asam sitrat 0,4 M



Modifikasi karbon aktif dengan asam sitrat 0,6 M



Modifikasi karbon aktif dengan asam sitrat 0,8 M

Lampiran 9. Dokumentasi Pengaplikasian Karbon Aktif untuk Penyerapan Logam Pb

Gambar	Keterangan
	<p>Proses adsorpsi logam berat Pb dengan 0,5 gram karbon teraktivasi selama 60 menit</p>
	<p>Proses adsorpsi logam berat Pb dengan 0,5 gram karbon termodifikasi asam sitrat 0,4 M selama 60 menit</p>
	<p>Proses adsorpsi logam berat Pb dengan 0,5 gram karbon termodifikasi asam sitrat 0,6 M selama 60 menit</p>
	<p>Proses adsorpsi logam berat Pb dengan 0,5 gram karbon termodifikasi asam sitrat 0,8 M selama 60 menit</p>

BIOGRAFI PENULIS

DATA PRIBADI

Nama : Krismawati

NIM : 190704011

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Tempat, Tanggal Lahir : Sidojadi, 20 Juli 1999

Jenis Kelamin : Perempuan

Alamat : Sidojadi, Kec Darul Makmur, Kab Nagan Raya,
Nanggroe Aceh Darussalam.

Tlp/Hp : 082277310514

Email : krismawatimbo@gmail.com



RIWAYAT PENDIDIKAN

2006-2012 : SDN Suka Mulia

2012-2015 : SMP Negeri 2 Darul Makmur

2015-2018 : SMA Negeri BUNGA BANGSA

2019-2023 : S1 Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi , UIN Ar-Raniry Banda Aceh.