

**HIDROCHAR AMPAS KOPI TERMODIFIKASI
H₂O₂ SEBAGAI ADSORBEN UNTUK ION LOGAM
BERAT Pb(II)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia



Oleh:

HANIKA RIZKY RAMADANI

NIM: 1808036031

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
2022**

**HIDROCHAR AMPAS KOPI TERMODIFIKASI
H₂O₂ SEBAGAI ADSORBEN UNTUK ION LOGAM
BERAT Pb(II)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia

Oleh:

HANIKA RIZKY RAMADANI

NIM: 1808036031

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG**

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Hanika Rizky Ramadani

NIM : 1808036031

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 sebagai
Adsorben untuk Ion Logam Berat Pb(II)**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri, kecuali bagian lain yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 23 September 2022

Pembuat pernyataan



Hanika Rizky Ramadani

1808036031

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2
sebagai Adsorben untuk Ion Logam Berat Pb(II)**

Nama : Hanika Rizky Ramadani

NIM : 1808036031

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Ilmu Kimia.

Semarang, 4 Oktober 2022

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Dyah Fitasari, M.Si

NIP. 198501022019032017

Sekretaris Sidang

Mulyatun, M.Si

NIP. 198305042011012008

Penguji I

Dr. Anissa Adiwena Putri, M.Sc

NIP. 198504052011012015

Penguji II

Kustomo, M.Sc

NIP. 198802262019031007

Pembimbing I

Dyah Fitasari, M.Si

NIP. 198501022019032017

Pembimbing II

Mulyatun, M.Si

NIP. 198305042011012008



NOTA DINAS

Semarang, 23 September 2022

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2
sebagai Adsorben untuk Ion Logam Berat Pb(II)**

Nama : Hanika Rizky Ramadani

NIM : 1808036031

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Dosen Pembimbing I



Dyah Fitasari, M.Si

NIP. 198501022019032017

NOTA DINAS

Semarang, 23 September 2022

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2
sebagai Adsorben untuk Ion Logam Berat Pb(II)**

Nama : Hanika Rizky Ramadani

NIM : 1808036031

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Dosen Pembimbing II



Mulyatun, M.Si

NIP. 198305042011012008

ABSTRAK

Judul : **Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2
sebagai Adsorben untuk Ion Logam Berat Pb(II)**

Nama : Hanika Rizky Ramadani

NIM : 1808036031

Ampas kopi dapat dikonversi menjadi hidrochar menggunakan metode karbonisasi hidrotermal untuk digunakan sebagai adsorben pengadsorpsi ion Pb(II). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi dengan larutan H_2O_2 , kapasitas adsorpsi, serta model kinetika dan isoterm adsorpsi dari hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap ion Pb(II). Hidrochar termodifikasi yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM-EDX. Analisis spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi hidroksil, karboksil, dan amina pada permukaan hidrochar yang efektif untuk mengikat ion logam Pb(II). Karakterisasi SEM-EDX menunjukkan hidrochar memiliki permukaan yang kasar dan terdapat gumpalan-gumpalan kecil dengan ukuran beragam, serta adanya peningkatan unsur oksigen. Hasil penelitian menunjukkan penyerapan ion Pb(II) yang paling optimum terjadi pada pH 5, waktu kontak 120 menit, dan konsentrasi 200 ppm. Penambahan H_2O_2 diketahui meningkatkan kapasitas adsorpsi dari 61,035 mg/g menjadi 64,755 mg/g. Pemodelan kinetika dan isoterm adsorpsi menunjukkan hasil yang baik dengan pola kinetika *pseudo* orde dua dan isoterm Langmuir.

Kata kunci: Hidrochar, ampas kopi, H_2O_2 , dan ion Pb(II)

TRANSLITERASI HURUF ARAB – LATIN

A. Konsonan

ء = '	ز = z	ق = q
ب = b	س = s	ك = k
ت = t	ش = sy	ل = l
ث = ts	ص = sh	م = m
ج = j	ض = dl	ن = n
ح = h	ط = th	و = w
خ = kh	ظ = zh	ه = h
د = d	ع = '	ي = y
ذ = dz	غ = gh	
ر = r	ف = f	

B. Vokal

اَ-	a
اِ-	i
اُ-	u

C. Bacaan Diftong

اي	ay
او	aw

D. Bacaan Madd:

a> = a panjang

i> = i panjang

u> = u panjang

E. Syaddah (ّ-)

Syaddah dilambangkan dengan konsonan ganda, misalnya الطَّبّ *at-thibb*.

F. Kata Sandang (... ال)

Kata Sandang (... ال) ditulis dengan *al-...* misalnya الصنّاعه = *al-shina'ah*. *al-* ditulis dengan huruf kecil kecuali jika terletak pada permulaan kalimat.

G. Ta' Marbutah (ة)

Setiap *ta' marbutah* ditulis dengan "h" misalnya المعيشه الطبيعية = *al-ma'isyah al-thabi'iyah*.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 sebagai Adsorben untuk Ion Logam Berat Pb(II)”** di Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang dengan baik. Tidak lupa penulis sampaikan shalawat serta salam kepada baginda Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dengan harapan semoga mendapat syafaatnya kelak di hari kiamat.

Tugas akhir ini merupakan suatu mata kuliah wajib yang harus dilaksanakan untuk memenuhi syarat sarjana pada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusinya berupa ilmu pengetahuan, moral, maupun bentuk materi baik secara langsung maupun tidak langsung selama pelaksanaan penelitian dan penyelesaian laporan tugas akhir ini. Ucapan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ismail, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Ibu Dyah Fitasari, M.Si, dan Ibu Mulyatun, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, serta arahan kepada penulis hingga akhir.
4. Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si selaku dosen wali yang selalu memberi pengarahan dan nasehat kepada penulis.
5. Seluruh dosen jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah membekali serta memberikan ilmu pengetahuan dan informasi kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
6. Ibu Anik Badriyah dan Ayah Samsuri tercinta yang dengan kasih sayangnya selalu memberikan dukungan, motivasi, pengorbanan, dan doa yang tiada henti kepada penulis.
7. Saudara terbaik penulis, abang Iwan dan mba Mudrika, serta saudara lainnya untuk kebaikannya yang selalu memberi doa, motivasi, dan semangat.
8. Teruntuk partner penelitian Dewi Salsabila yang telah memberikan semangat, saling bertukar pikiran, dan bisa diandalkan.
9. Sahabat-sahabat penulis Indah, Devi, Neli, Safira, Indri, Nisa, Maura, Tasya, Shinta, dan Acil. Terimakasih telah

menemani, membantu, menghibur, dan menyemangati untuk menyelesaikan skripsi.

10. Teman-teman seperjuangan jurusan kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang Angkatan 2018 yang telah bekerja sama sampai pada titik ini.
11. Semua rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala bantuan dan motivasinya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan pada penulisan berikutnya. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan pada umumnya dan Ilmu Kimia pada khususnya, Amin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, 23 September 2022



Hanika Rizky Ramadani

1808036031

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN	iv
NOTA DINAS.....	v
NOTA DINAS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
TRANSLITERASI	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Tujuan Penelitian.....	9
D. Manfaat.....	9
BAB II	10
LANDASAN PUSTAKA	10
A. Hidrochar.....	10
B. Biomassa	13
C. Ampas Kopi.....	15
D. Adsorpsi.....	18
E. Logam Berat Timbal (Pb).....	22
F. Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	25
G. <i>Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	28
H. <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS).....	31
I. Kajian Pustaka.....	34
J. Hipotesis Penelitian.....	36
BAB III.....	37
METODE PENELITIAN	37

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
B. Alat dan Bahan.....	37
C. Cara Kerja	38
D. Analisis Data	43
BAB IV.....	47
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	47
A. Sintesis Hidrochar Ampas Kopi.....	47
B. Modifikasi Hidrochar Ampas Kopi	50
C. Karakterisasi Hidrochar Ampas Kopi.....	52
D. Optimasi Adsorpsi Menggunakan Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi Terhadap Ion Logam Pb(II).....	58
E. Perbandingan Jenis Adsorben Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Pada Kondisi Optimum.....	68
F. Kinetika Adsorpsi	73
G. Isoterm Adsorpsi	75
BAB V.....	80
KESIMPULAN.....	80
A. Kesimpulan	80
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA.....	82
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	92
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Hasil Konversi Termokimia Biomassa dengan Berbagai Metode.....	12
Tabel 2. 2. Komposisi Kimia dari Ampas Kopi	18
Tabel 2. 3. Interpretasi Gugus Fungsi Spektrum FTIR pada Hidrochar Ampas Kopi.....	27
Tabel 4. 1. Perbandingan Serapan Spektrum FTIR Hidrochar Ampas Kopi Sebelum dan Setelah modifikasi	54
Tabel 4. 2. Perbandingan Komposisi Unsur Hidrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi	57
Tabel 4. 3. Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Ion Pb(II) Antara Hidrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi	69
Tabel 4. 4. Perbandingan Komposisi Unsur Hidrochar Termodifikasi Sebelum dan Setelah Dilakukan Uji Adsorpsi	71
Tabel 4. 5. Konstanta Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1.	Grafik Konsumsi Kopi di Indonesia Tahun 2014-2019.....	16
Gambar 2. 2.	Ampas Kopi	17
Gambar 2. 3.	Grafik Spesiasi Logam Pb(II).....	24
Gambar 2. 4.	Spektrofotometer FTIR.....	26
Gambar 2. 5.	Hasil Spektrum FTIR pada Hydrochar (HC) Ampas Kopi yang Disintesis dengan Variasi Waktu 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 jam.....	27
Gambar 2. 6.	Instrumen <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	29
Gambar 2. 7.	Alat <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	31
Gambar 4. 1.	Hydrochar Ampas Kopi	50
Gambar 4. 2.	Perbandingan Spektrum FTIR dari Hydrochar Ampas Kopi Sebelum Modifikasi (Bawah) dan Sesudah Modifikasi (Atas).....	52
Gambar 4. 3.	Hasil Karakterisasi SEM Hydrochar Sebelum Modifikasi dengan Perbesaran 1000x (Kiri) dan 3000x (Kanan)	56
Gambar 4. 4.	Hasil Karakterisasi SEM Hydrochar Sesudah Modifikasi dengan Perbesaran 1000x (Kiri) dan 3000x (Kanan)	56
Gambar 4. 5.	Grafik Hubungan Kapasitas Adsorpsi Ion Pb(II) Terhadap Variasi pH.....	61
Gambar 4. 6.	Grafik Kapasitas Adsorpsi Ion Pb(II) Terhadap Variasi Waktu	63
Gambar 4. 7.	Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Pb(II).....	66
Gambar 4. 8.	Grafik Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Hydrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi Terhadap Ion Pb(II)	70
Gambar 4. 9.	Hasil Karakterisasi SEM Hydrochar Ampas Kopi Sebelum Modifikasi (Kiri) dan Setelah Adsorpsi (Kanan) dengan Perbesaran 1000x.....	72

Gambar 4. 10. Model <i>Pseudo</i> Orde Satu Ion Pb(II)	74
Gambar 4. 11. Model <i>Pseudo</i> Orde Dua Ion Pb(II)	74
Gambar 4. 12. Pola Isoterm Langmuir Ion Pb(II)	77
Gambar 4. 13. Pola Isoterm Freundlich Ion Pb(II)	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Skema Prosedur Kerja.....	92
Lampiran 2 : Data Hasil Percobaan	97
Lampiran 3 : Analisa Data.....	101
Lampiran 4 : Dokumentasi Percobaan.....	116

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat dibutuhkan dan penting bagi kelangsungan hidup makhluk di bumi. Menurut pandangan Islam, air adalah komponen utama yang pertama kali diciptakan oleh Allah SWT bahkan sebelum terciptanya kehidupan. Keberadaan air menjadikan segala yang ada di bumi menjadi hidup. Allah SWT menciptakan air dan menjadikannya sebagai sumber kehidupan, seperti firman Allah SWT dalam Q.S. Al-Anbiya ayat 30 berikut (Mawardi, 2014).

..... وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ
..... وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ
..... وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ

Artinya:”..... dan kami telah jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air”

Air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. Air bersih merupakan air yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan meliputi mikrobiologi, fisika, kimia, dan radioaktif (Kemenkes RI, 1990). Air memiliki peran penting bagi manusia. Manusia membutuhkan air bersih untuk keperluan yang beragam seperti untuk memasak, minum,

mencuci, kegiatan industri, dan banyak lainnya (Wiryono, 2013). Tanah yang seharusnya berfungsi sebagai media penyimpanan air sudah banyak ditutup untuk kepentingan industri seperti perumahan dan pabrik tanpa mempedulikan fungsi dari tanah tersebut untuk masa depan. Sekarang ini sulit untuk menemukan sumber air bersih yang bebas dari pencemaran (Susana, 2003).

Air menjadi salah satu sumber kekayaan alam yang sangat penting untuk dijaga kelestariannya. Pada dasarnya, air merupakan karunia dari Allah SWT yang sangat mahal dan berharga. Akan tetapi, manusia seringkali tidak menghargai air sebagaimana mestinya. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S. Ar-Rum ayat 41 sebagai berikut (Hasri, 2017).

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي
النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: "Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia, Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)."

Ayat di atas menjelaskan bahwa pencemaran lingkungan baik di darat maupun di laut disebabkan oleh campur tangan manusia sendiri. Manusia tersebut adalah

orang-orang yang tidak sadar akan pentingnya menjaga lingkungan dan tidak memiliki pengetahuan akan dampak yang ditimbulkan akibat kerusakan lingkungan (Hasri, 2017). Lingkungan merupakan bagian integritas dalam hidup manusia, sehingga manusia harus selalu menjaga dan melestarikannya. Integritas ini juga menjadikan manusia memiliki tanggung jawab dalam berperilaku yang baik terhadap lingkungan sekitar (Istianah, 2015). Air banyak digunakan oleh manusia untuk bermacam-macam kegiatan sehingga dapat dengan mudah tercemar (Chandra, 2005).

Logam berat adalah salah satu kontaminan lingkungan yang paling umum. Keberadaan logam berat seperti kromium (Cr), timbal (Pb), kadmium (Cd), arsenik (As), dan logam lainnya dalam perairan bersifat toksik bahkan dalam jumlah yang sedikit (Mohiuddin et al., 2011). Pencemaran logam berat biasanya berasal dari pembuangan limbah industri seperti elektroplating, pembangkit listrik, pabrik kayu, pabrik kertas, penggunaan pestisida, dan kilang minyak. Pencemaran logam berat yang tidak dapat terurai (*non biodegradable*) dalam air akibat pembuangan limbah dapat menimbulkan dampak yang berbahaya bagi manusia. Logam berat yang terakumulasi dan melampaui kadar batas dalam tubuh manusia dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan seperti gangguan pada pencernaan, diare, alergi kulit, mual, dan kanker (Sarode et al., 2018).

Timbal (Pb) adalah salah satu zat pencemar berbahaya dan tidak dapat terurai yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar dan kegiatan industri (Nzediegwu et al., 2021). Sumber pencemaran logam Pb dapat berasal dari pabrik cat, penggunaan pestisida, asap rokok, polusi kendaraan, dan kegiatan pertambangan. Logam Pb dapat masuk ke tubuh manusia melalui saluran pernapasan ataupun saluran pencernaan (Sarode et al., 2018).

Dampak negatif yang ditimbulkan akibat paparan logam Pb terhadap kesehatan manusia di antaranya dapat mengubah aktivitas enzim antioksidan, menurunkan fungsi membran eritrosit, kardiovaskular, menurunkan sistem kekebalan tubuh dan reproduksi. Paparan logam Pb dengan kadar tinggi juga dapat menyebabkan berbagai kerusakan pada mekanisme penting seperti sistem saraf, hematologi, dan ginjal (Baloch et al., 2020). Paparan Pb juga dapat mengakibatkan hilangnya nafsu makan, mual, serta kerusakan pada organ paru-paru dan hati (Sarode et al., 2018).

Banyak teknik yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan khususnya perairan seperti adsorpsi, pertukaran ion, pengendapan, pemisahan membran, konversi elektrokimia, dan biodegradasi (Sarode et al., 2018). Adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling umum dipakai untuk menghilangkan pencemaran

logam berat karena memiliki konsep yang sederhana, ekonomis, dan dapat bekerja pada konsentrasi rendah (Ningsih et al., 2016). Telah dikembangkan beberapa jenis adsorben untuk mengadsorpsi logam berat salah satunya adalah dengan memanfaatkan hidrochar (Khanifa et al., 2019).

Hidrochar merupakan produk padat yang dihasilkan dari konversi biomassa menggunakan metode *Hydrothermal Carbonization* (HTC). HTC adalah proses termokimia konversi biomassa menggunakan air sebagai media reaksi yang tidak memiliki toksisitas apapun dan dikategorikan sebagai metode ramah lingkungan. Hidrochar dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti dijadikan adsorben, katalis, material berstruktur nano, dan sebagainya (Arellano et al., 2016). HTC atau metode pirolisis basah melibatkan degradasi termal biomassa basah pada suhu rendah dalam kisaran 180-250°C pada kondisi tekanan *autogenous*. HTC merupakan salah satu metode yang ramah lingkungan dan hemat biaya (Murthy et al., 2020). Metode HTC lebih efisien daripada karbonisasi kering konvensional karena beroperasi pada suhu rendah dan tidak memerlukan energi yang tinggi untuk dekomposisi bahan biomassa (Mohamed et al., 2017).

Ampas kopi merupakan salah satu biomassa basah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan hidrochar (Afolabi et al., 2020). Kopi adalah salah satu produk pertanian terbesar yang dikonsumsi dengan jumlah produksi sebesar 9 miliar kilogram di seluruh dunia. Tahun 2019, produksi kopi di Indonesia mencapai 742.000 ton (BPS, 2019). Adanya peningkatan dalam produksi kopi mengakibatkan limbah ampas kopi yang dihasilkan juga semakin meningkat (Caetano et al., 2012).

Pengelolaan limbah ampas kopi yang tidak tepat dapat menyebabkan polusi, kontaminasi lingkungan, dan risiko emisi gas (Afolabi et al., 2020). Ampas kopi yang dibuang begitu saja dapat mencemari lingkungan karena masih terdapat senyawa yang bersifat toksik seperti kafein, tanin, dan polifenol. Pembuangan limbah tersebut dapat menyebabkan tanah menjadi hitam dan memiliki aroma menyengat ketika terkena air hujan. Oleh karena itu, ampas kopi yang dibuang begitu saja akan menyebabkan pencemaran lingkungan (Mussatto, Carneiro, et al., 2011).

Ampas kopi merupakan limbah kaya akan gula yang dipolimerasi menjadi selulosa dan hemiselulosa. Hemiselulosa tersusun dari 3 gula yaitu manosa (21,2% b/b), galaktosa (13,8% b/b), dan arabinosa (1,7% b/b), sedangkan selulosa terdiri dari glukosa (8,6% b/b). Ampas kopi juga mengandung protein yaitu asam glutamat, leusin,

glisin, valin, fenilalanin, dan alanin. Ampas kopi juga mengandung abu yang dibentuk oleh beberapa mineral seperti kalium, fosfor, magnesium, dan kalsium (Mussatto, Carneiro, et al., 2011).

Ampas kopi bersifat sangat kompleks karena mengandung berbagai macam senyawa kimia yang menunjukkan bahwa ampas kopi dapat digunakan untuk beragam aplikasi. Ampas kopi mengandung nitrogen sehingga dapat digunakan sebagai pupuk. Ampas kopi juga memiliki kandungan minyak sekitar 10-20% sehingga dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Ampas kopi juga dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan adsorben karena mengandung karbon yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat seperti Pb (Caetano et al., 2012).

Zhang dkk (2020) melakukan penelitian tentang penggunaan adsorben dari limbah ampas kopi untuk mengadsorpsi limbah cair antibiotik sulfonamida. Adsorpsi dilakukan dengan menggunakan ampas kopi yang disintesis melalui dua metode yaitu pirolisis (biochar) dan karbonisasi hidrotermal (hidrochar). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan biochar ampas kopi untuk *sulfadiazine* dan *sulfamethoxazol* masing-masing sebesar 121,5 $\mu\text{g/g}$ dan 130,1 $\mu\text{g/g}$, sedangkan kapasitas adsorpsi maksimum

menggunakan hidrochar ampas kopi untuk *sulfadiazine* dan *sulfamethoxazol* masing-masing sebesar 82,2 µg/g dan 85,7 µg/g.

Berdasarkan uraian di atas, hidrochar dari ampas kopi diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif adsorben dalam menurunkan kadar ion logam Pb(II). Modifikasi terhadap hidrochar ampas kopi dilakukan dengan menggunakan larutan hidrogen peroksida (H₂O₂). Larutan H₂O₂ berfungsi sebagai oksidator yaitu zat yang dapat mengoksidasi hidrochar. Modifikasi dilakukan agar dapat meningkatkan sifat permukaannya yaitu meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi hidrochar terhadap ion logam Pb(II) (Xue et al., 2012).

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik hidrochar dari ampas kopi yang dimodifikasi dengan larutan H₂O₂?
2. Berapa kapasitas adsorpsi dari hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi H₂O₂ terhadap ion logam Pb(II) dengan variasi pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi yang optimum?
3. Bagaimana model kinetika adsorpsi dan isotherm adsorpsi hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap ion logam Pb(II)?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik hidrochar dari ampas kopi yang dimodifikasi dengan larutan H_2O_2 .
2. Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi H_2O_2 terhadap ion logam Pb(II) dengan variasi pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi yang optimum.
3. Untuk mengetahui model kinetika adsorpsi dan isotherm adsorpsi hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap ion logam Pb(II).

D. Manfaat

1. Untuk memberikan informasi tambahan kepada masyarakat mengenai manfaat dari limbah ampas kopi sebagai adsorben untuk menurunkan kadar ion logam Pb(II) dalam air limbah.
2. Untuk mengurangi limbah ampas kopi yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan.
3. Untuk membantu menangani pencemaran air akibat ion logam Pb(II).

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Hidrochar

Hidrochar mengacu pada produk arang padat hasil dari *Hydrothermal Carbonization* (HTC) menggunakan biomassa kaya karbon dengan adanya air yang dapat disebut sebagai pirolisis hidro atau pirolisis basah (Xue et al., 2012). Proses HTC biasanya menggunakan suhu yang relatif rendah pada kondisi tekanan *autogenous* untuk mengubah biomassa organik menjadi padatan berkarbon (seperti batubara) yang disebut arang hidro atau hidrochar (Afolabi et al., 2020). HTC biasanya menggunakan suhu rendah sekitar 150-350°C dan dapat digunakan langsung pada bahan baku basah seperti kotoran hewan, alga, dan biomassa berpori (Xue et al., 2012). Metode HTC dapat meningkatkan hidrofobisitas biomassa, menurunkan kadar air, meningkatkan kepadatan, dan nilai kalor sehingga hidrochar yang dihasilkan memiliki sifat rapuh, padat, serta memiliki nilai kalor yang tinggi (Silakova, 2018).

HTC mencakup proses paralel seperti hidrolisis, polimerasi, dekarboksilasi, dan dehidrasi. Selama proses HTC, biomassa dihidrolisis dan senyawa organik dipecah menjadi fragmen yang lebih kecil dan sangat tidak stabil. Biomassa selanjutnya dipolimerasi ulang menjadi senyawa

berminyak dan pada saat yang sama terbentuk hidrochar. Proses dehidrasi dan reaksi dekarboksilasi pada kondisi eksperimental dilakukan dengan menggunakan air. Secara umum, metode HTC menurunkan kandungan oksigen dan hidrogen untuk meningkatkan kandungan karbonnya (Román et al., 2012).

HTC atau biasa disebut karbonisasi basah merupakan teknik yang lebih efektif dibandingkan dengan karbonisasi kering konvensional karena dapat dilakukan pada suhu rendah sehingga tidak membutuhkan energi yang tinggi untuk penguraian bahan biomassa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Mohamed et al., 2017). HTC juga merupakan metode yang ramah lingkungan karena hanya menggunakan air sebagai media reaksi dalam tekanan dan panas yang tidak menghasilkan limbah kimia berbahaya ataupun produk sampingan (Kumar et al., 2011).

Hidrochar memiliki karakteristik tertentu dan dapat digunakan untuk beragam aplikasi (Afolabi et al., 2020). Hidrochar memiliki pori dan permukaan yang reaktif (Kumar et al., 2011). Hal ini menjadikan hidrochar dapat digunakan sebagai adsorben alternatif berbiaya rendah yang potensial untuk menghilangkan kontaminan logam berat dalam air. Adsorpsi logam berat dengan menggunakan hidrochar dapat dilakukan karena adanya interaksi antara ion logam dalam larutan dengan gugus

fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan hidrochar (Liu & Zhang, 2009).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa hidrochar yang dihasilkan melalui metode HTC memiliki afinitas yang lebih kuat terhadap kontaminan organik polar dan nonpolar daripada biochar. Hidrochar juga mengandung beberapa gugus fungsi permukaan yang reaktif terhadap logam berat seperti gugus hidroksil dan karboksil (Xue et al., 2012). Tabel 2.1 menunjukkan perbedaan jumlah produk yang dihasilkan dari berbagai metode konversi biomassa.

Tabel 2. 1. Hasil Konversi Termokimia Biomassa dengan Berbagai Metode (Kumar et al., 2011)

No	Proses	Suhu (°C)	Waktu (s)	Hasil (%)
1.	Gasifikasi	750	10-20	10
2.	Pirolisis			
	• Cepat	500	1	12
	• Sedang	500	10-20	20
	• Lambat	500	300-1800	35
	• Karbonisasi flash	>400	-	40-45
3.	Karbonisasi hidrotermal	250-350	600-3600	45-60

Tabel 2.1 menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan melalui metode HTC lebih tinggi dibandingkan dengan metode konversi termokimia biomassa lainnya yang mampu menghasilkan produk sekitar 45-60%.

B. Biomassa

Biomassa merupakan sumber organik yang memiliki potensi besar sebagai pengganti bahan bakar fosil. Biomassa sangat banyak tersedia dan dapat diubah menjadi berbagai jenis energi yang berguna seperti arang, daya, dan bahan bakar untuk alat transportasi (Silakova, 2018). Biomassa tersedia dalam jumlah besar seperti pada limbah pertanian, limbah serbuk gergaji, limbah lumpur, dan lainnya yang dapat ditemukan dengan mudah (Zhang et al., 2020). Biomassa bersifat biodegradabel sehingga ramah lingkungan (Tangio, 2013).

Menurut *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), biomassa termasuk produk sampingan, residu, dan limbah dari pertanian (jerami, padi, ampas tebu, ampas kopi, batang jagung), kehutanan (serbuk kayu, serbuk gergaji), ternak (kotoran sapi, unggas, dan babi), dan industri terkait, serta fraksi organik non fosil dan *non biodegradable* dari limbah industri dan non industri seperti lumpur, sisa makanan, kertas bekas, dan sisa pengolahan makanan. Biomassa mengandung banyak

lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) atau komponen organik (karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen) sehingga dapat menghasilkan produk yang kaya akan karbon, berenergi tinggi, dan rendah abu (Tsai, 2017). Biomassa dapat dikonversikan sebagai adsorben melalui metode seperti pirolisis (pirochar) atau karbonisasi hidrotermal (hydrochar) (Zhang et al., 2020).

Berikut kandungan dari biomassa secara sederhana yaitu:

1. Selulosa adalah polimer linier rantai panjang yang terdiri dari glukosa, membentuk komponen struktural utama dalam dinding sel biomassa, dan menyediakan struktur kerangka sebagian besar biomassa terestrial.
2. Hemiselulosa adalah konstituen lain yang terlibat dalam dinding sel tanaman yang merupakan kelompok polisakarida heterogen yang mengandung 6 karbon dan 5 karbon gula.
3. Lignin adalah polimer yang kompleks dan sangat bercabang dengan unit fenilpropana terkait dalam matriks 3 dimensi dan peringkat konstituen penting ketiga dari dinding sel biomassa kayu.
4. Zat ekstraktif dan abu. Zat ekstraktif mengacu pada protein, minyak/lemak, pati, dan gula yang dapat dipisahkan dari jaringan organisme, sedangkan abu merupakan komponen anorganik dari biomassa.

Bahan utama abu adalah silika, aluminium, kalsium, magnesium, natrium, kalium, dan titanium (Tsai, 2017).

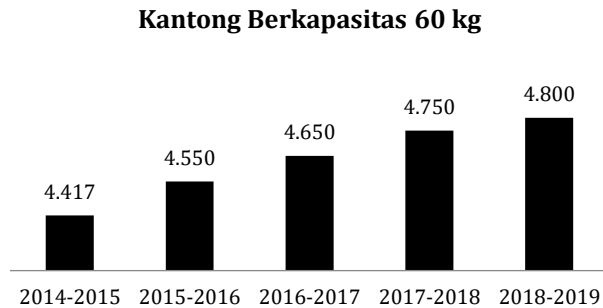
C. Ampas Kopi

Kopi merupakan salah satu komoditas pertanian terpenting di dunia karena merupakan minuman paling populer yang penyajiannya dengan cara diseduh dari biji kopi yang dipanggang. Pohon kopi umumnya ditanam di daerah tropis di mana iklim dengan curah hujan dan sinar matahari yang berlimpah (Tsai, 2017).

Senyawa kimia pada kopi dapat dibedakan menjadi dua yaitu senyawa volatil dan non volatil. Senyawa volatil merupakan senyawa yang mudah menguap, senyawa ini dapat mempengaruhi aroma pada kopi. Senyawa yang termasuk ke dalam senyawa volatil yaitu aldehid, keton, hidrokarbon, alkohol, asam karboksil, ester, pirazin, pirrol, piridin, komponen sulfur, furin, fenol, dan osasol. Senyawa non volatil meliputi kafein, asam klorogenat, dan senyawa-senyawa nutrisi. Senyawa nutrisi pada biji kopi terdiri dari karbohidrat, protein, lemak, dan mineral (Cagliani et al., 2013).

Produksi tahunan kopi, minuman yang dikonsumsi secara global terus meningkat sejak 2011 yaitu mencapai 9,54 juta ton pada tahun 2017 di seluruh dunia.

Diperkirakan dari 1 ton kopi yang telah diseduh menghasilkan sekitar 650 kg ampas kopi sehingga dalam setahun dapat dihasilkan limbah ampas kopi sebesar 6 juta ton (Afolabi et al., 2020). Meningkatnya konsumsi masyarakat akan minuman kopi menjadikan *coffe shop* semakin mudah dijumpai. Hal ini menyebabkan ampas kopi yang dihasilkan juga semakin meningkat (Mussatto, Carneiro, et al., 2011). Grafik konsumsi kopi domestik di Indonesia periode 2014-2019 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Grafik Konsumsi Kopi di Indonesia Tahun 2014-2019

Ampas kopi merupakan bahan residu padat yang dihasilkan dari proses pengolahan bubuk kopi dengan air panas untuk menyiapkan minuman kopi. Limbah ampas kopi memiliki ukuran partikel halus dengan kelembaban tinggi (berkisar 80-85%), mengandung bahan organik, dan bersifat asam (Mussatto, Carneiro, et al., 2011). Ampas kopi

juga mengandung senyawa bioaktif seperti polifenol yang berperan sebagai antioksidan untuk mencegah dan melawan molekul-molekul radikal bebas penyebab penyakit degeneratif seperti kanker (Mulia et al., 2016).

Ampas kopi merupakan sumber daya potensial karena kandungan zat organiknya yang tinggi, misalnya asam lemak, lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Ampas kopi kaya akan bahan organik seperti selulosa (8,6-13,3 wt%), minyak (10-20 wt%), hemiselulosa (30-40 wt%) dan lignin (25-33 wt%) sehingga ampas kopi dapat dijadikan sebagai bahan baku alternatif (Afolabi et al., 2020). Beberapa penelitian membuktikan bahwa ampas kopi dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat dari perairan yang terkontaminasi (Baryatik et al., 2019). Ampas kopi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Ampas Kopi
(Sumber: majalahcsr.id)

Ampas kopi mengandung sebagian besar asam klorogenat dan turunannya seperti asam *caffeoylquinic*, asam *feruloylquinic*, asam *p-coumaroylquinic*, dan diester campuran (asam *caffeic* dan asam *ferulic*) dengan asam *quinic*. Senyawa tersebut secara kolektif disebut sebagai asam klorogenat (antioksidan invitro yang kuat) (Zuorro & Lavecchia, 2012). Tabel 2.2 menunjukkan beberapa kandungan senyawa kimia dalam ampas kopi.

Tabel 2. 2. Komposisi Kimia dari Ampas Kopi (Mussatto, Machado, et al., 2011)

Komponen	Jumlah (g/100 g)
Selulosa	8,6
Hemiselulosa	36,7
Arabinosa	1,7
Galaktosa	13,8
Manosa	21,2
Protein	13,6
Gugus asetil	2,2
Abu	1,6
Bahan organik	90,5
Nitrogen	2,3
Karbon/nitrogen (C/N ratio)	22/1

D. Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang terdapat dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penyerap, di mana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan

penyerapannya. Adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Adsorpsi fisik (*physical adsorption*) yaitu berhubungan dengan gaya *Van der Waals* dan merupakan suatu proses bolak-balik apabila daya tarik-menarik antara zat terlarut dan adsorben lebih besar daya tarik-menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya, maka zat yang terlarut akan diadsorpsi pada permukaan adsorben.
2. Adsorpsi kimia (*chemisorption*) yaitu reaksi yang terjadi antara zat padat dan zat terlarut yang teradsorpsi.

(Mufrodi et al., 2008).

Adsorpsi banyak digunakan sebagai metode fisik yang efektif dalam pemisahan untuk menghilangkan atau menurunkan konsentrasi polutan (organik dan anorganik) dalam air yang tercemar dengan aplikasi adsorben. Adsorben yang paling umum digunakan diantaranya silika gel, karbon aktif, dan aluminium oksida (Komkiene & Baltrenaite, 2016). Adsorben yang diproduksi dari bahan baku limbah tidak hanya dapat mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga dapat menurunkan harga jual dari adsorben tersebut (Haura et al., 2017).

Adsorpsi suatu zat ke dalam pori-pori adsorben terjadi menurut mekanisme berikut:

1. Perpindahan massa adsorben dari larutan ke permukaan luar butir adsorben.
2. Difusi adsorbat dalam pori adsorben.
3. Perpindahan massa adsorbat dari larutan dalam pori ke permukaan pori adsorben.

(Widayatno et al., 2017).

Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah:

1. Luas permukaan yaitu semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak zat yang teradsorpsi. Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben.
2. Jenis adsorbat, di mana peningkatan polarisabilitas adsorbat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul yang mempunyai polarisabilitas yang tinggi (polar) memiliki kemampuan tarik-menarik terhadap molekul lain dibandingkan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (non polar). Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorpsi dibandingkan rantai yang lurus.

3. Struktur molekul adsorbat, amino mengakibatkan penurunan kemampuan penyisihan, sedangkan nitrogen meningkatkan kemampuan penyisihan.
4. Konsentrasi adsorbat yaitu semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben.
5. Temperatur, di mana pemanasan atau pengaktifan adsorben akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorbat karena menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. Pemanasan yang terlalu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben sehingga kemampuan penyerapannya menurun.
6. pH, di mana pH larutan mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi pada biosorben, dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi.
7. Kecepatan pengadukan, bila pengadukan terlalu lambat maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula, tetapi bila pengadukan terlalu cepat kemungkinan struktur adsorben cepat rusak sehingga proses adsorpsi kurang optimal.
8. Waktu kontak, di mana penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan.

(Syauqiah et al., 2011).

E. Logam Berat Timbal (Pb)

Pada dasarnya logam berat dibedakan menjadi dua kategori yaitu logam esensial dan logam non esensial. Logam berat seperti timbal, merkuri, dan kadmium dikategorikan sebagai logam non esensial karena memiliki sifat beracun dan berbahaya bagi organisme bahkan dalam jumlah kecil dan dalam jangka waktu yang lama. Nikel, tembaga, dan mangan adalah logam esensial karena memiliki peran yang cukup penting dalam sistem biologis (Kamarudin & Yunus, 2015).

Timbal (Pb) adalah salah satu unsur yang paling beracun, bahkan pada konsentrasi rendah. Logam ini dapat mempengaruhi sistem saraf pusat, ginjal, hati, sistem pencernaan, dan secara langsung atau tidak langsung dapat menyebabkan penyakit seperti anemia, hepatitis, dan sindrom nefritik (El-Wakil et al., 2014). Pencemaran logam Pb dalam air berasal dari kegiatan industri seperti industri pelapisan logam, pertambangan, dan lainnya (Song et al., 2010). Kegunaan dari logam Pb di antaranya untuk pembuatan kabel telepon, pembuatan baterai, pewarna cat, pengkilap keramik, bahan anti api, dan bahan tambahan untuk bahan bakar kendaraan (Rahmi & Sajidah, 2017).

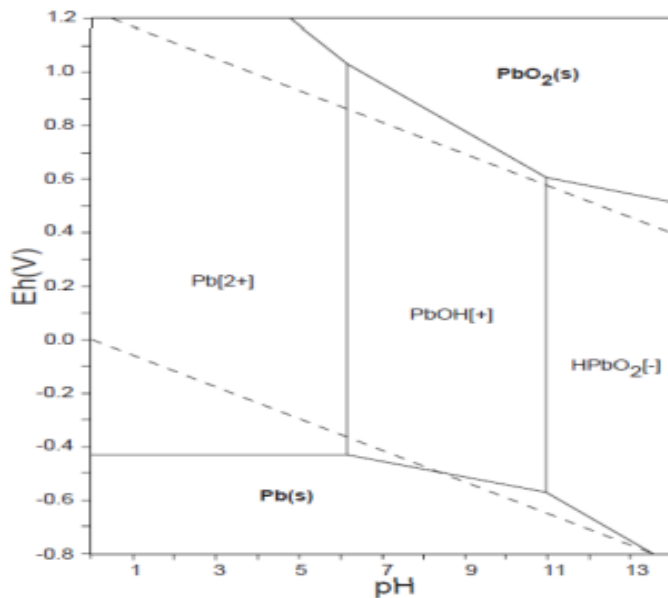
Pb merupakan logam yang berasal dari alam atau produksi industri yang memiliki sifat sangat beracun bagi manusia, terutama anak-anak. Keracunan logam Pb dapat

menyebabkan kram usus dan kelelahan. Pb juga dapat menyebabkan nefrotoksisitas dan neurotoksisitas (Kamarudin & Yunus, 2015). Pb yang terakumulasi dalam tubuh akan mengalami penumpukan yang dapat menyebabkan kerusakan pada organ tubuh (Kamarati et al., 2018). Paparan logam Pb pada manusia dapat mengurangi umur eritrosit. Peningkatan konsentrasi Pb dalam darah pada anak-anak dapat membahayakan otak (Baloch et al., 2020).

Toksisitas logam berat Pb dapat mempengaruhi laju pertumbuhan. Konsentrasi Pb yang tinggi di dalam tubuh akan menghambat aktivitas enzim dan merusak sistem metabolisme tubuh sehingga menghambat pertumbuhan (Yulaipi & Aunurohim, 2013). Keracunan logam Pb dapat menyebabkan halusinasi, kelainan pada janin, dan kelainan fungsi tiroid (Sudarwin, 2008).

Kation Pb(II) dapat diserap secara maksimal oleh adsorben pada pH asam yaitu 1-6. Ion logam Pb(II) mempunyai sifat asam sehingga akan bereaksi optimal pada kondisi pH larutan bersifat asam yaitu pH 1-6 (Jiang et al., 2012). Proses adsorpsi logam berat dalam air oleh adsorben dipengaruhi oleh nilai pH. Spesies utama Pb(II) memiliki kisaran pH 3-5. Konsentrasi ion Pb(II) berubah pada pH 6. Pada pH 6,3 mulai terjadi pembentukan padatan Pb(OH)₂. Pada pH di atas 7 akan terbentuk padatan

hidroksida terlarut yaitu PbOH^+ , $\text{Pb}(\text{OH})_2$, dan PbOH^{3+} (Issabayeva et al., 2006). Pada diagram spesiasi timbal menunjukkan bahwa pada $\text{pH} > 6$, spesies seperti $[\text{Pb}(\text{OH})]^+$, $[\text{Pb}_3(\text{OH})_4]^+$, dan $[\text{Pb}(\text{OH})]$ akan terbentuk (El-Wakil et al., 2014). Grafik spesiasi logam Pb(II) dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Grafik Spesiasi Logam Pb(II)
(Martina et al., 2016)

F. Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Spektrofotometer FTIR adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi spektrum getaran suatu molekul sehingga dapat memprediksi gugus fungsi suatu senyawa. Spektrofotometer FTIR dianggap sebagai alat semi kuantitatif yang menggunakan radiasi inframerah untuk menentukan fraksi cahaya yang diserap pada panjang gelombang tertentu. Spektrum yang dihasilkan memiliki ciri getaran ikatan molekul yang dapat digunakan untuk menganalisis struktur setiap sampel (Beasley et al., 2014).

Prinsip kerja dari spektrofotometer FTIR adalah pengukuran jumlah radiasi inframerah yang diserap atau dipancarkan oleh sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Setiap molekul poliatomik memiliki spektrum inframerah yang didasarkan pada getaran masing-masing molekul tergantung pada massa atom, kekuatan ikatan, dan interaksi intra atau antarmolekul. Hal ini mengakibatkan seluruh spektrum inframerah senyawa organik memiliki getaran yang unik. Spektrofotometer FTIR mempunyai banyak informasi struktural. Sebagian besar molekul menunjukkan pita inframerah di daerah serapan 4000-400 cm^{-1} (Bunaciu et al., 2011). Gambar spektrofotometer FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Spektrofotometer FTIR
(Sumber: perkinElmer.com)

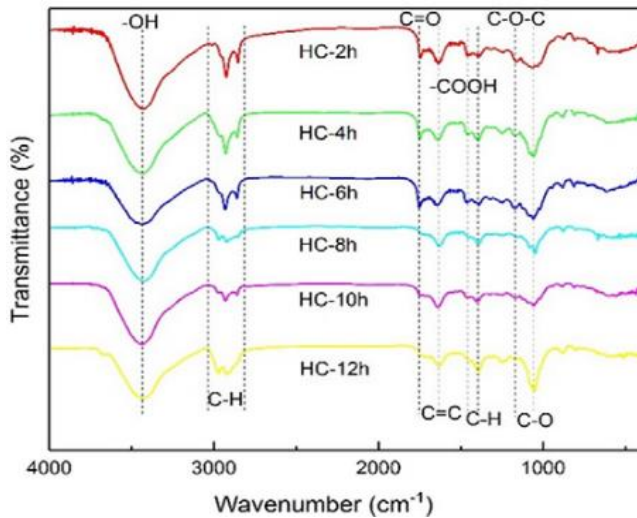
Radiasi elektromagnetik yang berinteraksi dengan sampel akan diserap, ditransmisikan, dan dipantulkan sehingga memberikan informasi yang signifikan tentang struktur molekul dan transisi tingkat energi zat tersebut. Pengujian FTIR dilakukan dengan menempatkan sampel pada jalur inframerah yang akan menyerap dan mengirimkan cahaya. Sinyal cahaya kemudian akan menembus sampel ke detektor (Munajad et al., 2018).

Hasil dari uji FTIR adalah grafik yang menunjukkan persentase transmitansi inframerah pada bilangan gelombang tertentu. Persentase transmitansi (%T) ditunjukkan pada grafik FTIR sumbu vertikal, sedangkan bilangan gelombang (cm^{-1}) ditunjukkan pada sumbu horizontal (Rahmat & Suwarno, 2020). Interpretasi data

spektrum FTIR dari hidrochar ampas kopi dan spektrum hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Gambar 2.5.

Tabel 2. 3. Interpretasi Gugus Fungsi Spektrum FTIR pada Hidrochar Ampas Kopi (Zhang et al., 2020)

No.	Gugus fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
1.	-OH	3800 - 3000
2.	C-H alifatik	2970 - 2845
3.	C = O karbonil	1760 - 1660
4.	C = C alkena	1640 - 1630
5.	C-O	1100 - 1000



Gambar 2. 5. Hasil Spektrum FTIR pada Hidrochar (HC) Ampas Kopi yang Disintesis dengan Variasi Waktu 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 jam (Zhang et al., 2020)

Kelebihan FTIR adalah interferogram dapat ditampilkan dalam waktu <1 detik sehingga interferogram dapat disimpan dalam memori komputer yang lebih besar. Interferogram adalah suatu sinyal kompleks yang berisi informasi frekuensi yang dapat dideteksi oleh spektrum inframerah (Rahmat & Suwarno, 2020). Kekurangan yang dapat muncul akibat penggunaan FTIR adalah pada saat interpretasi data secara visual dan langsung menjadi lebih sulit karena adanya tumpang tindih spektrum serapan molekul dalam sampel, sehingga dibutuhkan bantuan teknik kemometrika. Kemometrika adalah sebuah aplikasi prosedur matematika untuk mengolah, mengevaluasi, dan menginterpretasikan sejumlah besar data (Gad et al., 2012).

G. *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

SEM adalah instrumen yang digunakan untuk mengetahui struktur topografi permukaan sampel, ukuran butiran, cacat struktural, dan distribusi komposisi penyusun pada sampel (Nurzihan et al., 2019). SEM dapat menghasilkan gambar permukaan sampel dengan resolusi tinggi. Gambar SEM yang dihasilkan mempunyai karakteristik tampilan tiga dimensi berwarna hitam putih dan dapat digunakan untuk menentukan struktur permukaan sampel (Sihite & Budiarto, 2019).

Mikroskop SEM dilengkapi dengan berbagai detektor yang dapat menghasilkan gambar berdasarkan jenis elektron yang dikumpulkan. Beberapa detektor yang dimiliki SEM di antaranya *Secondary Electron* (SE) yang dapat membedakan sifat objek dan *Backscattered Electron* (BE) yang memberikan informasi topografi dan kontras material berdasarkan nomor atom sehingga dapat digunakan untuk membedakan komposisi sampel. Sebagian besar SEM juga dilengkapi dengan detektor EDX yang dapat memberikan informasi kualitatif dan kuantitatif tentang komposisi sampel (Gniadek & Dąbrowska, 2019). Gambar instrumen SEM-EDX dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
(Sumber: medicalexpo.com)

Komponen utama yang terdapat pada SEM adalah tiga pasang lensa elektromagnetik yang berguna untuk memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil. Komponen kedua yaitu sumber elektron yang menyediakan berkas elektron. Komponen ketiga yaitu *imaging detector* yang berguna mengubah sinyal elektron menjadi gambar (Sujatno et al., 2017). SEM memiliki prinsip kerja pemindaian di mana permukaan sampel akan dipindai dengan elektron mirip seperti gerakan mata yang sedang membaca. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkan kemudian diterima dan diproses oleh detektor SE. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada layar CRT (Juwita, 2003).

SEM-EDX memiliki pistol elektron yang menghasilkan sinar elektron. Sinar elektron akan dipercepat dengan anoda dan difokuskan pada sampel oleh lensa magnetik. Sinar elektron memindai keseluruhan sampel dengan dikendalikan oleh koil pemindai. Kamera, kecerahan, perbesaran, serta fokus diatur sehingga memperlihatkan permukaan pada sampel. Atur *spot size* pada monitor SEM dan di *Collect* pada monitor EDX. Pada saat sinar elektron mengenai sampel, elektron baru akan terpancar, diterima oleh detektor, dan dibaca pada monitor (Julinawati et al., 2015).

H. *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*

AAS adalah alat yang berfungsi untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. AAS digunakan untuk menganalisis senyawa anorganik atau logam (golongan alkali tanah unsur transisi) (Hidayati, 2013). AAS berprinsip pada penyerapan cahaya oleh atom. Atom-atom dari sampel akan menyerap sebagian sinar yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Penyerapan energi oleh atom terjadi pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom tersebut. Teknik analisis kandungan logam berat suatu zat banyak menggunakan AAS karena memiliki kepekaan yang tinggi dan penggunaannya relatif sederhana (Asra et al., 2019). Gambar instrumen AAS dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7. Alat *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*

(Sumber: thermofisher.com)

Komponen-komponen yang terdapat pada instrumen AAS antara lain:

1. Sumber radiasi, berfungsi untuk memberikan radiasi sinar pada atom-atom netral hingga terjadi absorpsi yang diikuti dengan eksitasi atom. Sumber sinar didapatkan dari lampu katoda berongga atau *Hollow Cathode Lamp* (HCL) yang memberikan energi sinar yang khas untuk setiap atom. HCL dapat berupa unsur tunggal atau kombinasi beberapa unsur (Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, dan Sn)
2. Unit atomisasi, berfungsi untuk mendapatkan atom-atom netral. Atomisasi dapat dilakukan dengan nyala api atau tanpa nyala api.
3. Sistem optik, berfungsi untuk memfokuskan sinar dari sumber sinar, mengarahkannya kepada sampel, lalu meneruskannya ke monokromator sampai ke detektor.
4. Monokromator, berfungsi untuk mengisolasi sinar yang diperlukan (salah satu atau lebih garis-garis resonansi dengan λ tertentu) dari sinar (spektrum) yang dihasilkan oleh HCL dan meniadakan λ yang lain.
5. Detektor, berfungsi untuk menentukan intensitas radiasi foton dari garis resonansi yang keluar dari monokromator dan mengubahnya menjadi arus listrik.

6. Amplifier, berfungsi sebagai penguat sinyal listrik yang dihasilkan oleh detektor.

(Solikha, 2019).

Cara kerja instrumen AAS dimulai pada saat sumber cahaya dari lampu katoda dari elemen yang sedang diukur, dilewatkan ke dalam nyala api yang berisi sampel yang telah teratomisasi, kemudian radiasi tersebut diteruskan ke detektor melalui monokromator. Detektor digunakan untuk mengukur intensitas cahaya, di mana akan menolak arah searah arus dari emisi nyala dan hanya mengukur arus bolak-balik dari sumber radiasi atau sampel. Detektor menuju *chopper* atau sistem penguat yang dipakai untuk membedakan kembali radiasi yang berasal dari sumber radiasi dan nyala api setelah radiasi tersebut keluar dari detektor. Sinar masuk kemudian menuju *readout* yang merupakan alat pencatat hasil. Hasil pembacaan dapat berupa angka atau kurva yang menggambarkan absorbansi atau intensitas emisi (Kusuma et al., 2019).

Gangguan-gangguan yang dapat terjadi dalam AAS adalah sebagai berikut:

1. Gangguan yang berasal dari matriks sampel yang mana dapat mempengaruhi banyaknya sampel yang mencapai nyala.
2. Gangguan kimia yang dapat mempengaruhi jumlah/banyaknya atom yang terjadi di dalam nyala

akibat disosiasi senyawa-senyawa yang tidak sempurna dan ionisasi atom-atom di dalam nyala.

3. Gangguan oleh serapan yang disebabkan bukan oleh serapan atom yang dianalisis, yakni serapan oleh molekul-molekul yang tidak terdisosiasi di dalam nyala.
 4. Gangguan oleh penyerapan non-atomik (*non-atomic absorption*).
- (Khopkar, 1990).

I. Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Afolabi dkk (2020) menunjukkan bahwa ampas kopi dapat digunakan sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan hidrochar. Hidrochar ampas kopi disintesis menggunakan metode karbonisasi hidrotermal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh karakteristik hidrochar ampas memiliki kadar abu yang sangat rendah yaitu <2% dan nilai kalor tertinggi sebesar 33,5 MJkg⁻¹. Kandungan karbon dan nilai kalornya meningkat secara signifikan masing-masing sebesar 11,2-30,7% dan 15,8-44,7%.

Penelitian tentang penggunaan adsorben ampas kopi telah dilakukan untuk menyerap limbah cair antibiotik sulfonamida. Zhang dkk (2020) menggunakan adsorben ampas kopi yang disintesis melalui dua metode yaitu

pirolisis (biochar) dan karbonisasi hidrotermal (hidrochar). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan biochar untuk *sulfadiazine* dan *sulfametoksazol* masing-masing sebesar 121,5 µg/g dan 130,1 µg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan hidrochar untuk *sulfadiazine* dan *sulfametoksazol* masing-masing sebesar 82,2 µg/g dan 85,7 µg/g.

Rattanapan dkk (2017) dalam penelitiannya menggunakan karbon aktif ampas kopi sebagai adsorben untuk mengadsorpsi *methyl orange*. Kapasitas adsorpsi yang diperoleh sebesar 658 mg/g. Kondisi optimum yang diperoleh berdasarkan variasi pH, konsentrasi awal, waktu kontak, dan suhu larutan *methyl orange* berturut-turut adalah pH 3, konsentrasi 300 mg/L, waktu kontak 90 menit, dan suhu 30°C.

Penggunaan arang aktif ampas kopi telah dilakukan oleh Baryatik dkk (2019). Berdasarkan penelitian yang dilakukan diketahui bahwa arang aktif ampas kopi secara signifikan dapat menurunkan kadar kadmium pada air sumur. Arang aktif ampas kopi diketahui dapat mengadsorpsi logam kadmium dalam air sampai dengan 55,75%. Hasil uji kualitas arang aktif ampas kopi meliputi rendemen sebesar 98,5%, kadar air sebesar 7%, kadar abu sebesar 4%, dan daya serap iodin sebesar 687,96 mg/g.

Penelitian tentang adsorpsi amonium menggunakan biochar ampas kopi telah dilakukan oleh Nguyen dkk (2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar ampas kopi dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan amonium dalam air. Kapasitas adsorpsi maksimum dari biochar ampas kopi terhadap amonium mencapai 51,52 mg/g.

J. Hipotesis Penelitian

Hidrochar dari ampas kopi dapat dibuat melalui metode karbonisasi hidrotermal. Modifikasi hidrochar ampas kopi dengan larutan H_2O_2 akan menghasilkan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaannya, seperti gugus hidroksil dan karboksil. Gugus-gugus fungsi tersebut dapat berinteraksi dengan ion logam Pb(II). Dengan demikian hidrochar ampas kopi termodifikasi diharapkan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik terhadap ion logam Pb(II).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Juli 2022. Penelitian bertempat di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Karakterisasi pada sampel dilakukan di beberapa laboratorium di Indonesia.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Cawan kaca, spatula besi, neraca analitik, loyang besar, oven, gelas ukur, autoklaf, batang pengaduk, *furnace*, labu erlenmeyer, corong, ayakan 100 *mesh*, gelas beker, *plastic wrap*, alumunium foil, labu ukur, pipet volume, *magnetic stirrer*, *hotplate*, pipet, wadah sampel plastik, botol kaca, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR, PerkinElmer Frontier FT-IR 96681), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX, Jeol JED-2300 Series), dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS, Spectrometer: iCE 3000 AA05194702).

2. Bahan

Ampas kopi diperoleh dari kedai kopi “Sarang Kopi” di wilayah Karanggede Kabupaten Boyolali Jawa Tengah berjenis arabika, akuades, air deionisasi, kertas saring, indikator pH universal, larutan H_2O_2 (Merck, p.a), larutan NaOH (Merck, p.a) 0,1 M, larutan HNO_3 (Merck, p.a) 0,1 M, dan larutan $Pb(NO_3)_2$ (Merck, p.a) berbagai konsentrasi.

C. Cara Kerja

1. Preparasi Sampel

Limbah ampas kopi yang diperoleh dari kedai kopi dijemur di bawah sinar matahari untuk mencegah pembusukan akibat mikroba selama penyimpanan. Ampas kopi yang telah kering kemudian ditempatkan dalam wadah pada suhu kamar.

2. Sintesis Hidrochar

Sebanyak 150 gram ampas kopi yang telah dijemur di bawah sinar matahari dikeringkan dalam oven pada suhu $105^\circ C$ selama 24 jam. Ampas kopi selanjutnya disintesis menjadi hidrochar menggunakan metode karbonisasi hidrotermal. Sebanyak 15 gram ampas kopi dan 150 mL air dimasukkan dalam reaktor autoklaf kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu $160^\circ C$ selama 2

jam. Produk yang dihasilkan disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan air deionisasi sampai pH air cucianya konstan. Produk kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam dan disaring dengan ayakan 100 *mesh* (Zhang et al., 2020).

3. Modifikasi Hydrochar

Sebanyak 3 gram hydrochar ampas kopi direndam dalam 20 mL larutan H₂O₂ 10% pada suhu kamar selama 2 jam. Hydrochar kemudian dibilas dengan menggunakan air deionisasi dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C (Xue et al., 2012).

4. Karakterisasi

Hydrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi yang dihasilkan pada penelitian ini dianalisa menggunakan spektrofotometer FTIR dan SEM-EDX. Karakterisasi SEM-EDX juga dilakukan pada hydrochar ampas kopi termodifikasi setelah proses adsorpsi pada kondisi optimum. Analisa dengan spektrofotometer FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi yang ada pada hydrochar. Analisa SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel, serta mengetahui persentase komposisi unsur-unsur kimia penyusun hydrochar. Filtrat hasil adsorpsi dengan

variasi pH larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, waktu kontak, dan konsentrasi larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dianalisa menggunakan instrumen AAS yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi akhir filtrat yang dihasilkan setelah proses adsorpsi.

5. Preparasi Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

a. Pembuatan Larutan Induk $\text{Pb}(\text{II})$ 1000 ppm

Larutan induk $\text{Pb}(\text{II})$ dibuat dengan menambahkan serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sesuai massa yang dibutuhkan dalam 1000 mL akuades. Massa serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dibutuhkan dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$\text{Massa} = \frac{\text{ppm} \times V \times \text{Mr } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}{\text{Ar } \text{Pb}(\text{II})} \quad (3.1)$$

Di mana:

ppm : konsentrasi yang akan dibuat (ppm)

V : volume larutan (L)

Mr : massa molekul relatif

Ar : massa atom relatif

Sebanyak 1,599 gram serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, lalu ditambahkan akuades hingga tanda batas. Larutan kemudian dikocok hingga homogen.

- b. Pembuatan Larutan Pb(II) 25 ppm dari Larutan Induk Pb(II) 1000 ppm sebanyak 500 mL

Larutan Pb(II) 25 ppm dibuat dengan mengambil sebanyak 12,5 mL larutan induk Pb(II) 1000 ppm yang telah dibuat sebelumnya. Larutan kemudian diencerkan ke dalam labu ukur 500 mL. Akuades ditambahkan hingga tanda batas. Larutan kemudian dikocok hingga homogen.

- c. Pembuatan Larutan Pb(II) 25, 50, 100, 150, 200, dan 250 ppm dari Larutan Induk Pb(II) 1000 ppm sebanyak 100 mL

Larutan Pb(II) 25, 50, 100, 150, 200, dan 250 ppm dibuat dengan mengambil larutan induk Pb(II) 1000 ppm berturut-turut sebanyak 2,5; 5; 10; 15; 20; dan 25 mL. Masing-masing larutan diencerkan ke dalam labu ukur 100 mL. Akuades ditambahkan hingga tanda batas. Larutan kemudian dikocok hingga homogen.

6. Optimasi Adsorpsi ion Pb(II) Menggunakan Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi

- a. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Variasi pH

Hidrochar ampas kopi termodifikasi ditimbang sebanyak 0,1 gram dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer. Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditambahkan sebanyak 50 mL dengan konsentrasi

25 ppm pada pH 2. Campuran tersebut diaduk dengan menggunakan *stirrer* selama 60 menit pada suhu ruang hingga tercampur merata. Campuran kemudian disaring menggunakan kertas saring dan diambil filtrat yang dihasilkan. Filtrat hasil adsorpsi diukur konsentrasinya menggunakan AAS. Langkah yang sama diulangi untuk pH 3, 4, 5, dan 6 (Artika et al., 2019).

b. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Variasi Waktu Kontak

Sebanyak 0,1 gram hidrochar ampas kopi termodifikasi ditambahkan dalam 50 mL larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25 ppm pada pH optimum. Campuran diaduk pada suhu kamar selama 15 menit pada suhu ruang hingga homogen. Campuran disaring menggunakan kertas saring dan filtrat yang diperoleh diukur konsentrasinya menggunakan AAS. Prosedur diulangi pada waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit (Artika et al., 2019).

c. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Variasi Konsentrasi Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Sebanyak 50 mL larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25 ppm pada kondisi pH optimum dikontakkan dengan 0,1 gram hidrochar ampas kopi yang telah dimodifikasi, kemudian diaduk dengan menggunakan *stirrer* hingga tercampur merata

selama waktu optimum. Campuran disaring untuk memisahkan filtrat dari padatannya. Filtrat hasil adsorpsi diukur konsentrasinya menggunakan AAS. Langkah-langkah tersebut diulangi untuk variasi konsentrasi 50, 100, 150, 200, dan 250 ppm (Artika et al., 2019).

7. Perbandingan Jenis Adsorben Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Pada Kondisi Optimum

Ditimbang sebanyak 0,1 gram hidrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi. Pada masing-masing hidrochar ditambahkan 50 mL larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan pH, waktu kontak, dan konsentrasi optimum. Filtrat yang dihasilkan di analisis menggunakan AAS.

D. Analisis Data

1. Hasil Hidrochar

Persen hasil hidrochar ampas kopi yang dihasilkan dihitung menggunakan Persamaan 3.2.

$$\text{Hasil (\%)} = \frac{\text{massa hidrochar}}{\text{massa ampas kopi}} \times 100\% \quad (3.2)$$

(Afolabi et al., 2020).

2. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi

Data yang diperoleh dari hasil AAS yaitu konsentrasi akhir larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Kandungan ion logam $\text{Pb}(\text{II})$ yang teradsorpsi dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{W} \times V \quad (3.3)$$

Di mana:

q_e : kapasitas adsorpsi dari ion $\text{Pb}(\text{II})$ (mg/g)

C_o : konsentrasi awal larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (ppm)

C_e : konsentrasi akhir larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (ppm)

W : massa dari adsorben hidrochar ampas kopi (g)

V : volume larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang digunakan (L).

3. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

a. *Pseudo* Orde Satu

Persamaan model kinetika *psuedo* orde satu dapat dilihat pada Persamaan 3.4.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3.4)$$

Di mana:

q_t : jumlah ion $\text{Pb}(\text{II})$ yang terserap pada waktu t (menit) oleh hidrochar (mg/g)

q_e : jumlah ion $\text{Pb}(\text{II})$ yang terserap oleh hidrochar saat kesetimbangan (mg/g)

k_1 : konstanta laju *pseudo* orde satu (menit^{-1})

Persamaan 3.4 diintegrasikan dalam batas ($t=0$, $q_t=0$, dan $t=t$, $q_t=q_t$), sehingga diperoleh Persamaan 3.5.

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (3.5)$$

Apabila dibuat plot $\ln (q_e - q_t)$ vs t , maka nilai k_1 dan q_e akan diketahui, sehingga dapat diturunkan menjadi Persamaan 3.6.

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} \cdot t \quad (3.6)$$

dengan plot $\log (q_e - q_t)$ terhadap t , nilai k_1 dan q_e dapat dihitung dari *slope* dan *intercept* garis lurus pada grafik (Gupta et al., 2012).

b. *Pseudo* Orde Dua

Persamaan model kinetika *psuedo* orde dua dapat dinyatakan sebagai Persamaan 3.7.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (3.7)$$

Persamaan 3.7 diintegrasikan dalam batas ($t = 0$, $q_t=0$, dan $t=t$, $q_t=q_t$), sehingga diperoleh Persamaan 3.8.

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_0 - q_t)^2$$

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3.8)$$

Di mana k_2 merupakan konstanta laju *pseudo* orde dua ($g \cdot \text{menit}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$). Nilai k_2 dan q_e dapat diperoleh

dari nilai *intercept* dan *slope* pada grafik lurus dengan plot (t/q_t) vs t (Ho, 2014).

4. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Isoterm Langmuir didasarkan pada asumsi proses adsorpsi satu lapis (*monolayer*). Model Langmuir dijelaskan oleh Persamaan 3.9.

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m \cdot K_L} + \frac{C_e}{Q_m} \quad (3.9)$$

Di mana:

Q_m : kapasitas adsorpsi maksimum ion Pb(II) (mg/g)

K_L : konstanta Langmuir (L/mg)

Q_e : kapasitas adsorpsi ion Pb(II) saat kesetimbangan (mg/g)

C_e : konsentrasi kesetimbangan adsorbat (ppm)

Isoterm Freundlich dapat digunakan untuk adsorpsi non-ideal yang melibatkan heterogen. Model isoterm Freundlich menggunakan Persamaan 3.10.

$$\ln Q_e = \ln K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \ln C_e \quad (3.10)$$

Di mana:

n : afinitas adsorpsi

K_F : konstanta Freundlich

(Kurniawan et al., 2014).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan proses sintesis hidrochar ampas kopi menggunakan metode *Hydrothermal Carbonization* (HTC) dan dimodifikasi dengan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2). Hidrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR dan SEM-EDX. Hidrochar ampas kopi termodifikasi diaplikasikan untuk mengadsorpsi ion logam Pb(II) dengan beberapa variasi yaitu pH, waktu kontak, dan konsentrasi larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Pengaplikasian tersebut kemudian dianalisis menggunakan instrumen AAS untuk dapat dihitung kapasitas adsorpsinya. Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan uji adsorpsi antara hidrochar ampas kopi sebelum modifikasi dengan hidrochar ampas kopi termodifikasi pada ion Pb(II) dalam kondisi pH, waktu kontak, dan konsentrasi yang optimum. Hidrochar ampas kopi termodifikasi yang telah digunakan untuk mengadsorpsi ion Pb(II) pada kondisi optimum juga dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX.

A. Sintesis Hidrochar Ampas Kopi

Ampas kopi yang digunakan pada penelitian ini berjenis arabika dan diperoleh dari kedai kopi “Sarang Kopi” yang berada di daerah Karanggede Boyolali sebagai

bahan baku untuk pembuatan hidrochar. Langkah pertama yang dilakukan untuk mensintesis hidrochar ampas kopi adalah mengeringkan 150 gram ampas kopi dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Pengovenan berfungsi untuk menghilangkan kelembaban (kadar air) yang terkandung dalam ampas kopi (Murthy et al., 2020). HTC adalah metode yang digunakan untuk mengubah limbah ampas kopi menjadi padatan berkarbon yang disebut hidrochar (Afolabi et al., 2020). Proses HTC bertujuan untuk meningkatkan kandungan karbon dari hidrochar ampas kopi (Román et al., 2012).

Sintesis hidrochar dilakukan dengan mencampurkan 15 gram limbah ampas kopi dengan 150 mL air dalam reaktor autoklaf yang kemudian dimasukkan dalam *furnace* dan dipanaskan pada suhu 160°C selama 2 jam. Air berperan penting dalam proses HTC. Selama proses reaksi air bertindak sebagai pelarut dan reaktan. Suhu juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik produk setelah proses HTC. Suhu berpengaruh terhadap peningkatan kandungan karbon, tetapi menurunkan jumlah hidrochar yang dihasilkan (Lokahita et al., 2020).

Reaktor autoklaf kemudian didinginkan pada suhu kamar dan produk padat (hidrochar) disaring dengan kertas saring halus untuk memisahkan hidrochar yang

dihasilkan dengan filtratnya (Imawati & Adhitiyawarman, 2015). Hidrochar kemudian dicuci dengan air deionisasi sampai pH air cucianya stabil. Proses pencucian dilakukan berulang kali hingga diperoleh pH air pencucian yang konstan. Dari proses pencucian didapatkan pH konstan yaitu pH 5. Pencucian bertujuan untuk menghilangkan pengotor seperti debu dan bahan organik ataupun anorganik lainnya yang masih menempel pada hidrochar, serta menstabilkan pH air cucianya (Haryanto et al., 2019).

Hidrochar ampas kopi yang didapatkan dikeringkan selama 12 jam pada suhu 105°C dalam oven. Hal ini berfungsi untuk menghilangkan kadar airnya (Imawati & Adhitiyawarman, 2015). Langkah selanjutnya, hidrochar diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*. Ukuran 100 *mesh* dipilih karena semakin kecil ukuran partikelnya, maka luas permukaan adsorben semakin besar sehingga jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi diharapkan dapat meningkat (Sembiring & Sinaga, 2009). Pengayakan juga bertujuan untuk memperoleh ukuran partikel hidrochar yang homogen (Murthy et al., 2020). Dari segi kualitas fisiknya, hidrochar ampas kopi yang diperoleh adalah serbuk berwarna hitam kecoklatan. Hal ini sesuai dengan penelitian Afolabi dkk (2020) yang menunjukkan hidrochar ampas kopi yang diperoleh tetap berwarna hitam

kecoklatan, rapuh, dan mudah dihancurkan menjadi bubuk. Berdasarkan sintesis yang dilakukan, dihasilkan hidrochar ampas kopi sebanyak 9,56 gram. Hidrochar ampas kopi yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Hidrochar Ampas Kopi

B. Modifikasi Hidrochar Ampas Kopi

Adsorben hidrochar ampas kopi yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan logam berat dalam air perlu dilakukan modifikasi untuk mengaktifkan permukaan hidrochar dan meningkatkan kemampuannya dalam mengadsorpsi limbah logam berat (Xue et al., 2012). Pada penelitian ini hidrochar ampas kopi dimodifikasi menggunakan larutan H_2O_2 . Penggunaan larutan H_2O_2 karena H_2O_2 merupakan oksidator kuat yang akan terdekomposisi menjadi oksigen dan air sehingga ramah lingkungan (Kholifah et al., 2018). Tujuan modifikasi adalah

untuk menghasilkan hidrochar dengan daya adsorpsi yang lebih baik dan meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen, khususnya gugus karboksil pada permukaan hidrochar (Xue et al., 2012).

Ukuran partikel adalah salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses adsorpsi (Ningsih et al., 2016). Oleh sebab itu, sebelum dimodifikasi hidrochar ampas kopi disaring terlebih dahulu menggunakan ayakan 100 *mesh* agar proses modifikasi yang dilakukan dapat lebih merata ke seluruh permukaan adsorben (Suprabawati et al., 2018). Modifikasi hidrochar ampas kopi dilakukan dengan merendam 3 gram hidrochar dalam 20 mL larutan H_2O_2 pada suhu kamar selama 2 jam. Setelah direndam, hidrochar disaring dan dibilas menggunakan air deionisasi.

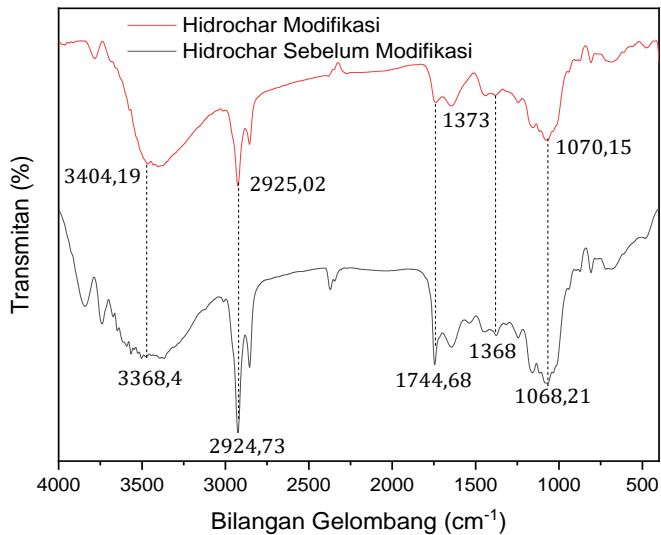
Perendaman dengan larutan H_2O_2 bertujuan untuk meningkatkan gugus fungsi pada permukaan hidrochar, khususnya gugus fungsi yang mengandung oksigen (Xue et al., 2012). Pencucian berguna untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang masih tertinggal pada saat perendaman hidrochar (Imawati & Adhitiyawarman, 2015). Hidrochar yang telah terkumpul dikeringkan dalam oven pada suhu $80^\circ C$. Tujuan pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air serta mencegah tumbuhnya jamur sehingga hidrochar dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama untuk keperluan penelitian (Alfajriandi et al.,

2017). Hasil hidrochar ampas kopi termodifikasi pada penelitian ini sebanyak 2,78 gram.

C. Karakterisasi Hidrochar Ampas Kopi

1. Karakterisasi FTIR

Hidrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi dengan larutan H_2O_2 dikarakterisasi dengan FTIR agar diketahui perubahan gugus-gugus fungsinya akibat dari reaksi oksidasi menggunakan larutan H_2O_2 . Perbandingan hasil spektrum FTIR antara hidrochar sebelum modifikasi dan hidrochar setelah modifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2. Perbandingan Spektrum FTIR dari Hidrochar Ampas Kopi Sebelum Modifikasi (Bawah) dan Sesudah Modifikasi (Atas)

Berdasarkan Gambar 4.2, hidrochar ampas kopi sebelum modifikasi menunjukkan adanya vibrasi O-H *stretching* yang melebar dan menurun tajam pada pita serapan 3368,4 cm^{-1} . Pada pita serapan 2924,73 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* C-H dari alkana. Pada pita serapan 1744,68 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* C=O dari karbonil. Pada pita serapan 1368 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi C-N dari amina. Pada pita serapan 1068,21 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* C-O dari karboksil.

Hasil spektrum FTIR dari hidrochar ampas kopi setelah modifikasi menunjukkan adanya vibrasi *stretching* O-H yang melebar dan menurun tajam pada pita serapan 3404,19 cm^{-1} . Pada pita serapan 2925,02 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* C-H dari alkana. Pada pita serapan 1373 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi C-N dari amina. Pada pita serapan 1070,15 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* C-O dari karboksil. Perbandingan serapan gugus fungsi antara hidrochar ampas kopi sebelum dan setelah modifikasi tercantum pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Perbandingan Serapan Spektrum FTIR Hidrochar Ampas Kopi Sebelum dan Setelah modifikasi

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	Pustaka	Hidrochar Ampas Kopi sebelum modifikasi	Hidrochar Ampas Kopi Setelah Modifikasi
O - H	3800 - 3300 (Zhang et al., 2020)	3368,4	3404,19
C - H	2970 - 2845 (Zhang et al., 2020)	2924,73	2925,02
C = O	1760 - 1660 (Zhang et al., 2020)	1744,68	-
C - N	1331 (Murthy et al., 2020)	1368	1373
C - O	1100 - 1000 (Zhang et al., 2020)	1068,21	1070,15

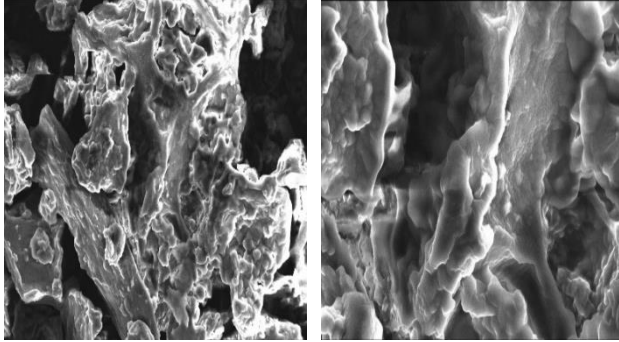
Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui bahwa spektrum FTIR pada hidrochar ampas kopi sebelum dan setelah modifikasi terdapat perbedaan yaitu hilangnya gugus C=O pada pita serapan 1744,68 cm⁻¹. Hilangnya gugus karbonil pada spektrum FTIR hidrochar ampas kopi termodifikasi dapat terjadi selama proses perlakuan secara kimia. Rattanapan dkk (2017) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa penambahan

asam untuk memodifikasi permukaan yang disertai dengan pemanasan dapat menyebabkan senyawa volatil terurai pada karbon.

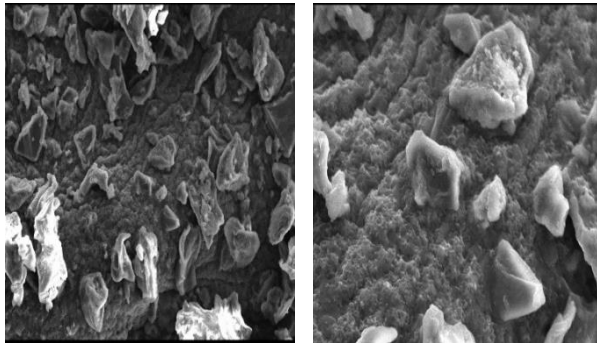
Pada hasil spektrum FTIR juga terlihat bahwa hidrochar ampas kopi kaya akan gugus hidroksil, karbonil, amina, dan karboksil. Keberadaan gugus-gugus tersebut dapat bertindak sebagai ligan dan menyebabkan terjadinya ikatan dengan ion logam Pb(II) (Siregar, 2011). Kelimpahan gugus fungsi karboksil dan hidroksil juga dapat berkoordinasi dengan ion logam Pb(II) dalam bentuk terdeprotonasi (Kurniawan et al., 2014).

2. Karakterisasi SEM-EDX

Berdasarkan hasil analisis SEM yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan morfologi dan bentuk permukaan antara hidrochar sebelum dan sesudah modifikasi seperti terlihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4. 3. Hasil Karakterisasi SEM Hidrochar Sebelum Modifikasi dengan Perbesaran 1000x (Kiri) dan 3000x (Kanan)



Gambar 4. 4. Hasil Karakterisasi SEM Hidrochar Sesudah Modifikasi dengan Perbesaran 1000x (Kiri) dan 3000x (Kanan)

Pada Gambar 4.3 diketahui struktur morfologi permukaan dari hidrochar ampas kopi sebelum modifikasi memiliki permukaan yang tidak beraturan dengan ukuran pori-pori beragam (Murthy et al., 2020). Hal ini disebabkan karena reaksi hidrolisis yang terjadi pada saat proses karbonisasi hidrotermal (Liu

& Zhang, 2009). Pada Gambar 4.4 menunjukkan hidrochar ampas kopi sesudah modifikasi memiliki morfologi struktur permukaan yang kasar dan terdapat kepingan/gumpalan dengan ukuran yang cukup bervariasi dan distribusi tidak merata.

Hasil analisis EDX terhadap hidrochar sebelum dan sesudah modifikasi menunjukkan komposisi komponen-komponen kimia yang terdapat pada hidrochar tersebut. Tabel perbandingan komposisi unsur dari hidrochar sebelum dan sesudah modifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Perbandingan Komposisi Unsur Hidrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi

Komposisi Unsur (% massa)	Jenis Adsorben	
	Hidrochar Sebelum Modifikasi	Hidrochar Termodifikasi
C	75,02	72,13
O	24,76	27,73
Na	-	0,02
Mg	0,03	0,02
Cl	0,09	-
Ca	0,10	0,10

Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan adanya unsur C dan O yang merupakan dua unsur penyusun adsorben secara umum (Cintia et al., 2022). Hidrochar ampas kopi termodifikasi memiliki kandungan karbon sebesar 72,13%. Hasil tersebut lebih rendah

dibandingkan dengan hidrochar sebelum modifikasi yang mengandung karbon sebesar 75,02%. Penurunan komposisi karbon ini terjadi akibat reaksi oksidasi oleh larutan H_2O_2 yang membentuk gas karbon dioksida (CO_2). Setelah hidrochar dimodifikasi menggunakan larutan H_2O_2 , kandungan oksigen pada permukaan hidrochar meningkat dari 24,76% menjadi 27,73%. Hasil ini konsisten dengan penelitian Xue dkk (2012), di mana penambahan larutan H_2O_2 dapat mengoksidasi permukaan berkarbonisasi dan meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen, terutama gugus karboksil. Penambahan larutan H_2O_2 berdampak kecil pada komposisi unsur-unsur mineral (Na, Mg, Cl, dan Ca) pada kedua hidrochar (Xue et al., 2012).

D. Optimasi Adsorpsi Menggunakan Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi Terhadap Ion Logam Pb(II)

1. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Variasi pH

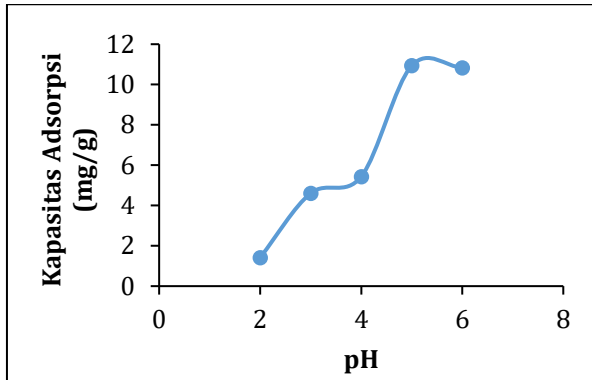
pH adalah derajat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan (Tangio, 2013). pH berperan penting dalam proses adsorpsi suatu adsorbat dalam larutan (Murthy et al., 2020). Penentuan pH optimum bertujuan untuk mengetahui nilai pH yang memberikan adsorpsi maksimum dari

hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap ion Pb(II) (Dewi et al., 2015).

Langkah yang dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi ion Pb(II) akibat pengaruh pH yaitu dengan menambahkan 0,1 gram hidrochar ampas kopi termodifikasi dalam setiap larutan Pb(NO₃)₂ konsentrasi 25 ppm yang telah diatur pH-nya. Pengaturan pH asam pada larutan Pb(NO₃)₂ dilakukan dengan cara menambahkan larutan HNO₃ 0,1 M dan pengaturan pH basa dilakukan dengan cara menambahkan larutan NaOH 0,1 M. Campuran kemudian diaduk menggunakan *stirrer* selama 1 jam pada suhu ruang hingga homogen. Suhu ruang dipilih kerana semakin tinggi suhu yang digunakan pada proses adsorpsi, maka ion logam yang teradsorpsi oleh hidrochar semakin sedikit (Gultom & Lubis, 2014). Pada proses pengadukan terjadi kontak antara adsorben dan adsorbat yang mengakibatkan adanya ikatan antara hidrochar ampas kopi termodifikasi dengan ion Pb(II) sehingga konsentrasi logam menurun. Campuran kemudian disaring dan filtratnya diukur konsentrasinya menggunakan AAS.

Variasi pH larutan Pb(NO₃)₂ yang digunakan pada penelitian ini adalah pH 2, 3, 4, 5, dan 6. Pemilihan variasi pH larutan Pb(NO₃)₂ 2 sampai 6 dikarenakan

pada kondisi tersebut logam Pb(II) masih berada dalam bentuk ion positifnya yaitu Pb(II). Pada kondisi pH larutan di atas 6 kelarutan ion Pb(II) akan semakin berkurang karena bereaksi dengan OH membentuk Pb(OH)₂ (Aryanti et al., 2014). Pada pH rendah, gugus fungsi pada permukaan hidrochar yang mengandung oksigen akan berikatan dengan ion H⁺, sehingga ion Pb(II) tidak dapat berikatan dengan permukaan hidrochar dan mengakibatkan kapasitas adsorpsinya rendah. Seiring dengan meningkatnya nilai pH, maka akan terjadi deprotonasi pada gugus fungsi yang mengakibatkan ion Pb(II) memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi (Liu & Zhang, 2009). Semakin tinggi nilai pH, maka sifatnya semakin basa yang menyebabkan kelarutan ion Pb(II) semakin kecil dan mulai terjadi pengendapan. Hal ini menyebabkan ion Pb(II) yang teradsorpsi semakin sedikit (Tangio, 2013). Grafik pengaruh pH larutan Pb(NO₃)₂ terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II) dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5. Grafik Hubungan Kapasitas Adsorpsi Ion Pb(II) Terhadap Variasi pH

Berdasarkan Gambar 4.5, diketahui bahwa kapasitas adsorpsi logam Pb(II) dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, dan 6 secara berturut-turut 1,423 mg/g; 4,609 mg/g; 5,4335 mg/g; 10,934 mg/g; dan 10,8355 mg/g. Terlihat bahwa semakin tinggi nilai pH, kapasitas adsorpsinya mengalami peningkatan hingga kondisi optimum dan setelah itu mengalami penurunan.

Proses adsorpsi yang terjadi pada kondisi pH rendah daya adsorpsinya kecil. Hal ini dikarenakan adanya gaya tolak-menolak secara elektrostatik antara ion Pb(II) yang bermuatan positif dengan kondisi asam tinggi (pH rendah), sehingga hanya sebagian kecil ion Pb(II) yang dapat teradsorpsi. Pada kondisi pH yang semakin meningkat, hanya ada sedikit ion H⁺ yang terdapat dalam larutan, sehingga banyak ion negatif

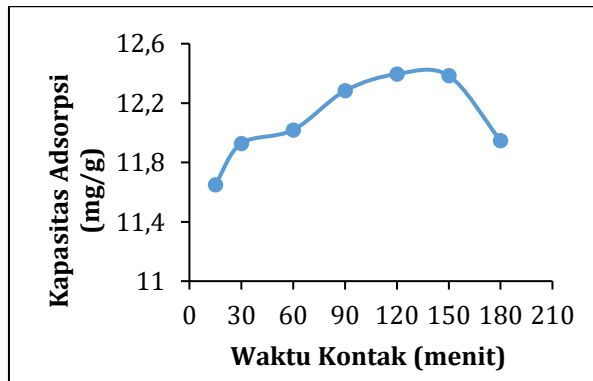
OH⁻ yang berikatan dengan ion Pb(II) (Wulandari et al., 2014). Pada pH di atas 5, terjadi penurunan kapasitas adsorpsi yang disebabkan oleh pembentukan senyawa kompleks hidroksil (Liu & Zhang, 2009).

Berdasarkan penelitian diketahui bahwa pH optimum adsorpsi ion Pb(II) menggunakan hidrochar ampas kopi termodifikasi berada pada pH 5 dengan penurunan kadar logam tertinggi terhadap ion logam Pb(II) sebesar 10,934 mg/g. Hal ini sesuai dengan penelitian adsorpsi logam timbal dengan menggunakan cangkang udang yang dilakukan oleh Pratiwi dan Prinajati (2014).

2. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Variasi Waktu

Waktu kontak menjadi salah satu parameter yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi di mana semakin lama waktu adsorpsinya, maka frekuensi tumbukan antara adsorben dengan partikel adsorbat semakin besar (Baryatik et al., 2019). Waktu kontak optimum merupakan waktu terjadinya kesetimbangan antara laju adsorpsi dan desorpsi (Wulandari et al., 2014). Penentuan waktu kontak optimum bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh hidrochar ampas kopi termodifikasi untuk mengadsorpsi ion Pb(II) secara optimum.

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan mencampurkan 0,1 gram hidrochar termodifikasi ke dalam larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 25 ppm. Proses Adsorpsi dilakukan pada pH optimum larutan yaitu 5. Campuran selanjutnya diaduk menggunakan *stirrer* dengan variasi waktu kontak 15, 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit pada suhu ruang hingga tercampur merata. Filtrat yang dihasilkan dianalisis konsentrasinya menggunakan AAS. Grafik waktu kontak terhadap jumlah ion logam $\text{Pb}(\text{II})$ yang teradsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6. Grafik Kapasitas Adsorpsi Ion $\text{Pb}(\text{II})$ Terhadap Variasi Waktu

Gambar 4.4 merupakan grafik pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ion $\text{Pb}(\text{II})$ menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi ion $\text{Pb}(\text{II})$

dengan variasi waktu kontak 15, 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 secara berturut-turut adalah 11,65 mg/g; 11,9275 mg/g; 12,0185 mg/g; 12,2825 mg/g; 12,3955 mg/g; 12,384 mg/g; dan 11,947 mg/g. Dari data tersebut, adsorpsi meningkat dari waktu kontak 15 menit hingga 120 menit dan mengalami penurunan pada menit ke 150 dan 180.

Waktu kontak antara adsorben dengan ion logam yang lebih lama memungkinkan terjadinya peningkatan daya adsorpsi ion logam namun jika terlalu lama dapat menurunkan daya adsorpsinya (Pranoto et al., 2018). Terjadinya penurunan daya adsorpsi setelah mencapai waktu kontak optimum menunjukkan bahwa hidrochar ampas kopi termodifikasi mengalami desorpsi yaitu melepaskan kembali sampel limbah yang telah diadsorpsi karena adsorben telah jenuh oleh limbah logam. Apabila waktu kontak diperpanjang, maka hidrochar yang telah mengadsorpsi ion Pb(II) secara optimum akan dilepas kembali ke dalam larutan limbah. Hal ini dikarenakan adsorben memiliki kapasitas serap maksimum dalam mengadsorpsi ion logam (Irmanto & Suyata, 2009).

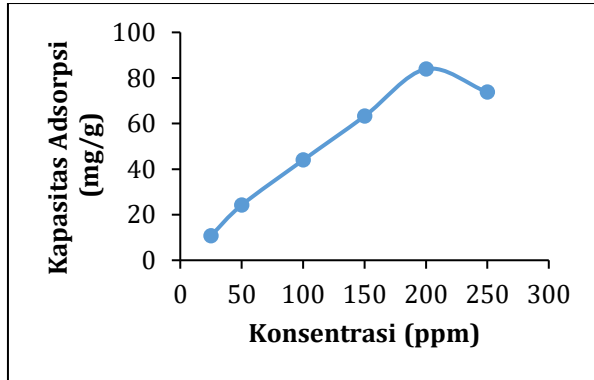
Ion Pb(II) akan menempel pada permukaan adsorben sampai waktu kontak optimum. Pada saat waktu kontak telah cukup atau lewat jenuh maka ion Pb(II) tidak dapat diterima lagi oleh permukaan adsorben dan akan dilepas kembali ke dalam larutan. Hal ini mengakibatkan nilai kapasitas adsorpsinya menurun atau berkurang (Pranoto et al., 2018). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa waktu kontak maksimum yang digunakan untuk mengadsorpsi ion logam Pb(II) terjadi pada waktu kontak 120 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 12,3995 mg/g.

3. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Variasi Konsentrasi

Konsentrasi optimum adalah konsentrasi di mana adsorben paling banyak mengadsorpsi ion logam dalam larutan. Konsentrasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Penentuan konsentrasi optimum dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum dalam menyerap ion Pb(II) (Aryanti et al., 2014).

Adsorpsi dilakukan dengan mencampurkan 0,1 gram hidrochar termodifikasi pada larutan Pb(NO₃)₂ dengan variasi konsentrasi 25, 50, 100, 150, 200, dan 250 ppm pada pH 5. Campuran diaduk selama waktu maksimum yaitu 120 menit. Campuran kemudian

disaring dan filtratnya diukur konsentrasinya menggunakan AAS. Hasil variasi konsentrasi larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ terhadap banyaknya ion $\text{Pb}(\text{II})$ yang teradsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7. Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion $\text{Pb}(\text{II})$

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi larutan logam $\text{Pb}(\text{II})$ semakin banyak pula jumlah ion $\text{Pb}(\text{II})$ yang terserap. Kapasitas adsorpsi dengan variasi konsentrasi 25, 50, 100, 150, 200, dan 250 ppm masing-masing sebesar 10,7642; 24,201; 43,95; 63,2; 83,89; dan 73,735 mg/g. Pada konsentrasi 25 ppm kapasitas adsorpsinya sebesar 10,7642 mg/g kemudian mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan $\text{Pb}(\text{II})$ hingga mencapai kondisi optimum pada

konsentrasi 200 ppm. Semakin besar konsentrasi larutan logam Pb(II), maka semakin banyak molekul yang berinteraksi dengan adsorben (Aryanti et al., 2014).

Pada konsentrasi 25 ppm, ion Pb(II) terletak di luar permukaan hidrochar. Seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan, ion Pb(II) akan masuk ke dalam struktur dalam sehingga kapasitas adsorpsinya meningkat (Liu & Zhang, 2009). Pada konsentrasi larutan Pb(II) 250 ppm terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini sesuai dengan penelitian Venugopal dan Mohanty (2011) yang menyatakan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi ion logam maka kapasitas penyerapan semakin berkurang. Penurunan kapasitas adsorpsi pada konsentrasi tinggi terjadi karena jumlah ion logam dalam larutan tidak sebanding dengan jumlah partikel adsorben yang digunakan sehingga adsorben akan mencapai titik jenuh sehingga kapasitas adsorpsinya akan berkurang (Venugopal & Mohanty, 2011).

Konsentrasi ion logam sangat erat hubungannya dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada permukaan adsorben yang mampu mengikat logam tersebut. Bila jumlah sisi aktif cukup besar dibanding jumlah ion logam maka kapasitas adsorpsinya tinggi.

Pada kondisi tertentu kapasitas adsorpsi akan konstan bahkan terjadi penurunan karena telah terjadi kejenuhan pada adsorben (Chaidir et al., 2015). Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan konsentrasi optimum ion Pb(II) teradsorpsi oleh hidrochar ampas kopi termodifikasi pada konsentrasi 200 ppm dengan kapasitas adsorpsinya sebesar 83,89 mg/g.

E. Perbandingan Jenis Adsorben Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Pb(II) Pada Kondisi Optimum

Pada penelitian ini dilakukan uji perbandingan kemampuan adsorpsi terhadap ion Pb(II) menggunakan 2 jenis adsorben, yaitu hidrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi dalam kondisi optimum. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan 0,1 gram hidrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi yang pada masing-masing hidrochar ditambahkan larutan sampel $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 200 ppm. Proses adsorpsi dilakukan selama 120 menit pada pH 5. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diketahui bahwa terdapat perbedaan kapasitas adsorpsi dari kedua jenis hidrochar dalam proses adsorpsi terhadap ion Pb(II) seperti yang terlihat pada Tabel 4.3.

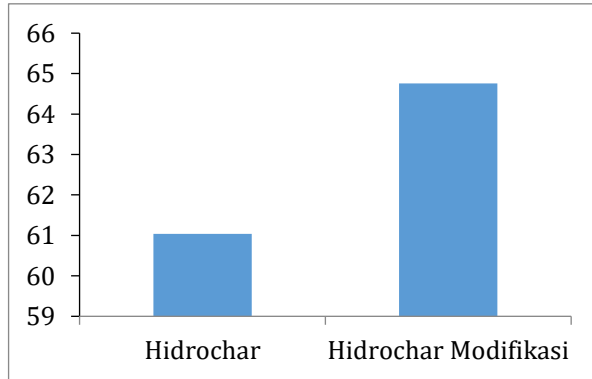
Tabel 4. 3. Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Ion Pb(II) Antara Hidrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi

Jenis Hidrochar	C _o (ppm)	C _e (ppm)	q _e (mg/g)
Sebelum Modifikasi	200	77,93	61,035
Sesudah Modifikasi	200	70,49	64,755

Sesuai dengan Tabel 4.4 diketahui bahwa hidrochar ampas kopi termodifikasi lebih efektif dalam mengadsorpsi ion logam Pb(II) daripada hidrochar ampas kopi sebelum modifikasi dengan kapasitas adsorpsi meningkat dari 61,035 mg/g menjadi 64,755 mg/g. Peningkatan kapasitas adsorpsi pada hidrochar termodifikasi disebabkan karena adanya gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan hidrochar termodifikasi dapat bertindak sebagai asam atau basa sehingga mampu meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap ion Pb(II) (Song et al., 2010).

Peningkatan kapasitas adsorpsi juga disebabkan oleh peningkatan unsur oksigen pada permukaan hidrochar setelah dimodifikasi dengan larutan H₂O₂. Hal ini menunjukkan bahwa larutan H₂O₂ dapat digunakan sebagai reagen oksidasi untuk memodifikasi atau mengaktifkan hidrochar untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dalam menyerap ion logam Pb(II) (Khanifa et al., 2019). Grafik perbandingan kapasitas adsorpsi hidrochar sebelum dan

sesudah modifikasi terhadap ion Pb(II) ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Grafik Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Hydrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi Terhadap Ion Pb(II)

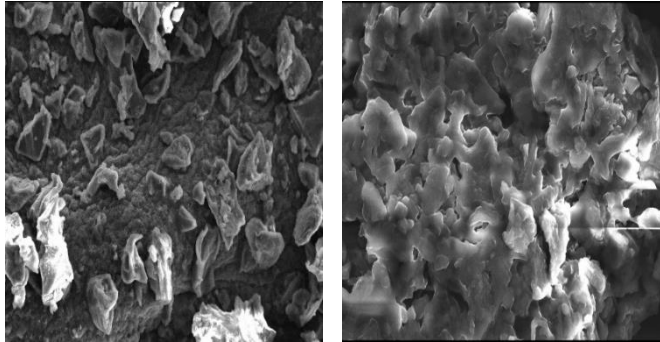
Karakterisasi SEM-EDX dilakukan pada hidrochar ampas kopi termodifikasi setelah dilakukan uji adsorpsi dalam kondisi optimum pada ion Pb(II). Hal ini bertujuan untuk membuktikan keberadaan unsur logam berat Pb yang menempel pada permukaan hidrochar setelah dilakukan uji adsorpsi. Perbandingan persentase banyaknya unsur penyusun yang terdapat pada hidrochar ampas kopi termodifikasi sebelum dan setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4. Perbandingan Komposisi Unsur Hidrochar Termodifikasi Sebelum dan Setelah Dilakukan Uji Adsorpsi

Komposisi Unsur (% massa)	Jenis Adsorben	
	Hidrochar Modifikasi Sebelum Adsorpsi	Hidrochar Termodifikasi Setelah Adsorpsi
C	72,13	75,25
O	27,73	23,58
Na	0,02	0,01
Mg	0,02	0,02
S	-	0,08
Ca	0,10	0,01
Cu	-	0,21
Cd	-	0,01
Pb	-	0,83

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa pada hidrochar ampas kopi modifikasi setelah proses adsorpsi mengandung unsur Pb dengan persentase sebesar 0,83%. Dari hasil juga diketahui terdapat perbedaan komposisi unsur pada kedua hidrochar di mana selain logam Pb, hidrochar ampas kopi modifikasi setelah adsorpsi mengandung unsur S, Cu, dan Cd. Unsur belerang (S) yang terdapat pada hidrochar ampas kopi muncul akibat proses pengeringan yang terlalu lama pada hidrochar ampas kopi termodifikasi setelah proses adsorpsi (Afolabi et al., 2020). Adanya penurunan komposisi unsur oksigen dari 27,13% menjadi 23,58% setelah proses adsorpsi menandakan bahwa hidrochar termodifikasi telah mengadsorpsi ion

Pb(II) (Khanifa et al., 2019). Morfologi permukaan hidrochar ampas kopi termodifikasi setelah proses adsorpsi ion Pb(II) ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9. Hasil Karakterisasi SEM Hidrochar Ampas Kopi Sebelum Modifikasi (Kiri) dan Setelah Adsorpsi (Kanan) dengan Perbesaran 1000x

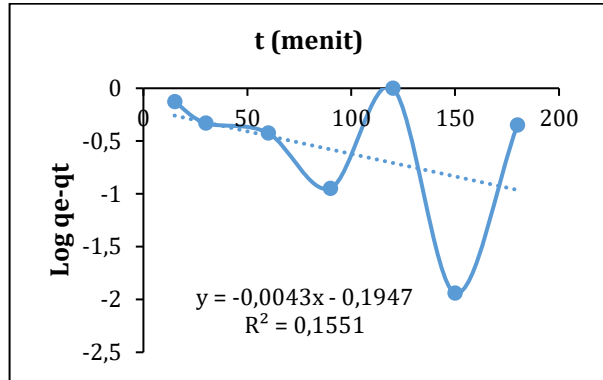
Gambar 4.9 menunjukkan hasil pemindaian menggunakan SEM dengan perbesaran 1000 kali pada hidrochar ampas kopi termodifikasi sebelum dan setelah proses adsorpsi. Terlihat adanya perbedaan morfologi struktur permukaan hidrochar sebelum dan setelah proses adsorpsi ion Pb(II) yang ditandai dengan terjadinya penebalan pada permukaan hidrochar. Hal ini menunjukkan bahwa ion Pb(II) telah menempel pada hidrochar ampas kopi termodifikasi.

F. Kinetika Adsorpsi

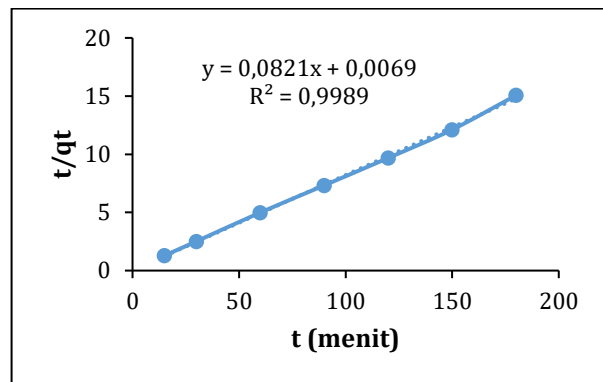
Analisis kinetika adsorpsi berperan penting untuk mengetahui laju penyerapan adsorbat dan memperkirakan waktu yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan. Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan untuk menentukan model kinetika adsorpsi yang sesuai dengan penelitian (Murthy et al., 2020). Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) variasi waktu kontak digunakan untuk menentukan model kinetika adsorpsi (Haryanto et al., 2019). Waktu kontak merupakan faktor yang dapat menggambarkan kinetika antara adsorben dengan adsorbat (Nisah et al., 2021).

Pengujian model kinetika adsorpsi dilakukan untuk menentukan model kinetika yang sesuai dengan suatu penelitian. Penentuan model kinetika bergantung pada nilai regresi (R^2). Model kinetika yang cocok adalah model kesetimbangan dengan harga R^2 yang lebih tinggi atau mendekati satu (Gultom & Lubis, 2014).

Kinetika adsorpsi yang dipilih pada penelitian ini adalah model *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. *Pseudo* orde satu mengasumsikan bahwa konsentrasi adsorbat berlebih dibandingkan jumlah sisi aktif yang terdapat pada permukaan adsorben. Model kinetika *pseudo* orde dua tergantung pada kemampuan mengadsorpsi masing-masing fase padat. Model *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua ion Pb(II) dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4. 10. Model *Pseudo* Orde Satu Ion Pb(II)



Gambar 4. 11. Model *Pseudo* Orde Dua Ion Pb(II)

Berdasarkan Gambar 4.10 dan 4.11 dapat disimpulkan bahwa orde reaksi hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap adsorpsi ion Pb(II) mengikuti kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua. Hal ini dapat dilihat dari linieritas kurva yang ditunjukkan oleh nilai R^2 yang dihasilkan. Nilai R^2 *pseudo* orde satu yang diperoleh sangat rendah yaitu

0,1551. Nilai R^2 pada grafik *pseudo* orde dua memiliki nilai sebesar 0,9989. Dengan demikian diketahui bahwa linieritas grafik kinetika *pseudo* orde dua mendekati 1. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Kurniawan dkk yang menggunakan biji *Annona muricata* untuk mengadsorpsi ion Pb(II), hasil adsorpsinya mengikuti kinetika model *pseudo* orde dua (Kurniawan et al., 2014).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa proses adsorpsi hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap ion Pb(II) menggunakan model kinetika *pseudo* orde dua. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi dikendalikan oleh kemisorpsi yang melibatkan kekuatan valensi melalui berbagi atau pertukaran elektron antara pelarut dan adsorbat (El-Wakil et al., 2014).

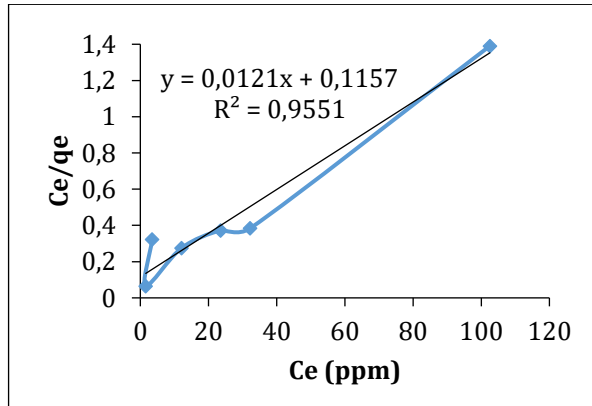
G. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi berperan penting dalam menggambarkan interaksi antara adsorben dan adsorbat (Eltaweil et al., 2020). Isoterm adsorpsi juga menggambarkan kinerja adsorben dalam kondisi kesetimbangan pada suhu konstan (Ayawei et al., 2017). Adsorpsi biasanya digambarkan melalui isoterm yaitu jumlah adsorbat pada adsorben sebagai fungsi dari tekanannya (jika gas) atau konsentrasi (jika cair) pada suhu konstan (El-Wakil et al., 2014). Penentuan model isoterm

adsorpsi dilakukan untuk menggambarkan proses terjadinya adsorpsi. Penentuan isoterm adsorpsi didasarkan pada nilai R^2 dari masing-masing adsorben, semakin nilai R^2 mendekati 1 maka tingkat kesalahan yang terjadi semakin sedikit (Pranoto et al., 2018).

Data isoterm adsorpsi dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich yang umum digunakan. Model adsorpsi isoterm Langmuir merupakan suatu proses adsorpsi satu lapis (*monolayer*) artinya jumlah situs aktif yang ada dalam adsorben mengadsorpsi adsorbat dengan jumlah yang sama, sedangkan model adsorpsi isoterm Freundlich menggambarkan suatu proses adsorpsi *multilayer* sehingga lebih berinteraksi secara fisisorpsi (Ahda et al., 2013).

Proses adsorpsi menurut Langmuir menunjukkan bahwa interaksi antara logam timbal dengan permukaan adsorben pada pembentukan lapisan tunggal (Pranoto et al., 2018). Penentuan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diperoleh dengan membuat grafik pola isoterm adsorpsi (Dewi et al., 2015). Pola isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada Gambar 4.12.

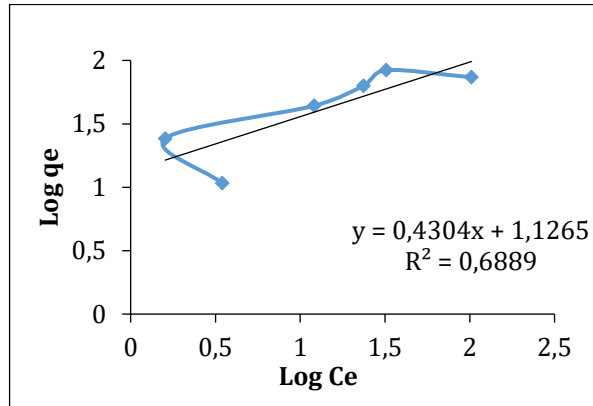


Gambar 4. 12. Pola Isoterm Langmuir Ion Pb(II)

Pada model isoterm Langmuir diperoleh hasil nilai $R^2 = 0,9551$. Nilai R^2 yang mendekati 1, maka hasilnya mendekati linier. Berdasarkan hasil perhitungan nilai $y = 0,0121x + 0,1157$ diperoleh hasil kapasitas maksimum ion Pb(II) yang dapat diserap (q_m) adalah 82,6446 mg/g. Nilai konstanta kesetimbangan isoterm dengan menggunakan model Langmuir ini adalah 0,1045.

Isoterm Freundlich merupakan isoterm yang menggambarkan proses adsorpsi secara fisika. Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul. Interaksi terjadi dengan cara logam berat memasuki pori-pori adsorben tanpa membentuk ikatan atau berinteraksi dengan energi ikat yang lemah yaitu melalui ikatan *Van der Waals*. Gaya tarik-menarik yang lemah tersebut menyebabkan adsorbat dapat

bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben (Pranoto et al., 2018). Grafik isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13. Pola Isoterm Freundlich Ion Pb(II)

Berdasarkan Gambar 4.12, model isoterm Freundlich memiliki nilai regresi yaitu 0,6889. Nilai R^2 yang didapatkan belum mendekati 1. Pada penelitian diperoleh nilai K_F yaitu 13,3813 dan nilai n yaitu 2,3234. Perbandingan perhitungan isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5. Konstanta Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich

Model Isoterm Langmuir			Model Isoterm Freundlich		
q_m	K_L	R^2	$1/n$	K_F	R^2
82,6446	0,1045	0,9551	0,4303	13,3813	0,6889

Dapat disimpulkan bahwa pada penelitian menunjukkan kecocokan yang lebih baik pada model isoterm adsorpsi Langmuir daripada model Freundlich. Hal ini ditunjukkan dari nilai R^2 Langmuir yang lebih mendekati 1 dibandingkan model isoterm Freundlich. Hasil pemodelan Langmuir menggambarkan adsorpsi pada permukaan homogen. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi hidrochar dengan larutan H_2O_2 mengurangi heterogenitas pada permukaan hidrochar (Xue et al., 2012). Kapasitas adsorpsi maksimum yang diperoleh dari model Langmuir juga mempunyai nilai yang hampir sama dengan nilai kapasitas adsorpsi yang dihasilkan dari penelitian yaitu 83,89 mg/g. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sanjaya dan Agustine (2015) di mana adsorpsi logam timbal menggunakan arang aktif dari kulit pisang mengikuti persamaan isoterm Langmuir (Sanjaya & Agustine, 2015).

BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hidrochar ampas kopi termodifikasi memiliki gugus fungsi hidroksil, karboksil, dan amina yang dapat mengikat ion logam Pb(II). Hasil SEM-EDX menunjukkan bahwa pada permukaan hidrochar termodifikasi larutan H_2O_2 terdapat peningkatan komposisi unsur oksigen dan memiliki morfologi yang kasar serta terdapat kepingan/gumpalan yang cukup bervariasi dengan distribusi tidak merata.
2. Kondisi optimum untuk menurunkan kadar ion logam Pb(II) menggunakan hidrochar ampas kopi termodifikasi dicapai pada pH 5, waktu kontak 120 menit, dan konsentrasi larutan 200 ppm. Penambahan larutan H_2O_2 untuk modifikasi hidrochar ampas kopi mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi dari 61,035 mg/g menjadi 64,755 mg/g.

3. Data Kinetika adsorpsi yang diperoleh dari penelitian ini cocok dengan model *pseudo* orde dua dengan nilai regresi sebesar 0,9989. Model isoterm adsorpsi yang sesuai dengan penelitian adalah isoterm Langmuir dengan nilai regresi sebesar 0,9551.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Dapat ditambahkan uji kadar abu dan kadar air pada hidrochar ampas kopi.
2. Dapat dilakukan pengujian luas permukaan spesifik dan ukuran pori hidrochar.
3. Dilakukan pengulangan penentuan waktu optimum.
4. Dapat menggunakan larutan asam atau basa lain untuk modifikasi permukaan sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrochar ampas kopi terhadap ion Pb(II).

DAFTAR PUSTAKA

- Afolabi, O. O. D., Sohail, M., & Cheng, Y. L. (2020). Optimisation and Characterisation of Hydrochar Production from Spent Coffee Grounds by Hydrothermal Carbonisation. *Renewable Energy*, *147*, 1380–1391.
- Ahda, M., Sutarno, S., & Kunarti, E. S. (2013). Sintesis Silika MCM-41 Dan Uji Kapasitas Adsorpsi Terhadap Metilen Biru. *Jurnal Ilmiah Kefarmasian*, *3*(1), 1–8.
- Alfajriandi, Hamzah, F., & Hamzah, F. H. (2017). Perbedaan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Briket Arang Daun Pisang Kering. *JOM Faperta UR*, *4*(1), 1–13.
- Arellano, O., Flores, M., Guerra, J., Hidalgo, A., Rojas, D., & Strubinger, A. (2016). Hydrothermal Carbonization of Corn cob and Characterization of The Obtained Hydrochar. *Journal Chemical Engineering Transactions*, *50*, 235–240.
- Artika, N., Subagyo, R. R. D. J., & Hiyahara, I. A. (2019). Adsorpsi Ion Logam Berat Pb (II) dengan Biochar Residu Pirolysis Kayu Macaranga gigantea. *Jurnal Kimia FMIPA UNMUL*, 109–113.
- Aryanti, A. Y., Hastuti, R., & Khabibi. (2014). Pengaruh Penambahan Polietilen Glikol (PEG) pada Selulosa dalam Serbuk Tongkol Jagung (Zea Mays) terhadap Adsorpsi Ion Logam Timbal (Pb²⁺). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, *17*(1), 1–5.
- Asra, R., Maisitoh, & Rusdi. (2019). Analysis of Metal Contents Lead and Cadmium in Uretic Acid Jamu By Using Atomic Absorption Spectrophotometric. *Journal of Pharmaceutical And Sciences*, *2*(1), 10–16.
- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., & Wankasi, D. (2017). Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, *2017*, 1–11.
- Baloch, S., Kazi, T. G., Baig, J. A., Afridi, H. I., & Arain, M. B. (2020). Occupational Exposure of Lead and Cadmium on Adolescent and Adult Workers of Battery Recycling and Welding Workshops: Adverse Impact on Health. *Journal*

- Science of the Total Environment*, 720, 1–8.
- Baryatik, P., Moelyaningrum, A. D., Asihita, U., Nurcahyaningasih, W., Baroroh, A., & Riskianto, H. (2019). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Sebagai Adsorben Kadmium Pada Air Sumur. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), 11–19.
- Beasley, M. M., Bartelink, E. J., Taylor, L., & Miller, R. M. (2014). Comparison of Transmission FTIR, ATR, and DRIFT Spectra: Implications for Assessment of Bone Bioapatite Diagenesis. *Journal of Archaeological Science*, 46, 16–22.
- BPS. (2019). *Statistik Kopi Indonesia 2019*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Bunaciu, A. A., Aboul-Enein, H. Y., & Fleschin, S. (2011). Recent Applications of Fourier Transform Infrared Spectrophotometry in Herbal Medicine Analysis. *Applied Spectroscopy Reviews*, 46, 251–260.
- Caetano, N. S., Silvaa, V. F. M., & Mata, T. M. (2012). Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Chemical Engineering Transactions*, 26.
- Cagliani, L. R., Pellegrino, G., Giugno, G., & Consonni, R. (2013). Quantification of Coffea Arabica and Coffea Canephora var. Robusta in Roasted and Ground Coffee Blends. *Talanta*, 106, 169–173.
- Chaidir, Z., Hasanah, Q., & Zein, R. (2015). Penyerapan Ion Logam Cr (III) dan Cr (IV) dalam Larutan Menggunakan Kulit Buah Jengkol (Pithecellobium jiringa (JACK) prain). *Jurnal Riset Kimia*, 8(2), 189–199.
- Chandra, B. (2005). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Cintia, M., Juliasih, N. L. G. R., Herasari, D., Kiswandono, A. A., & Supriyanto, R. (2022). Studi Karbon Aktif Kayu Bakau (Rhizophora mucronata) Sebagai Adsorben Pewarna Tekstil Biru Tua Kode 5 Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 7(1).
- Dewi, P. A. I. K., Suarya, P., & Sibarani, J. (2015). Adsorpsi Ion Logam Pb²⁺ Dan Cu²⁺ Oleh Bentonit Teraktivasi Basa

- (NaOH). *Jurnal Kimia*, 9(2), 235–242.
- El-Wakil, A. M., El-Maaty, W. M., & Awad, F. S. (2014). Removal of Lead from Aqueous Solution on Activated Carbon and Modified Activated Carbon Prepared from Dried Water Hyacinth Plant. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 5(2), 1–14.
- Eltaweil, A. S., Mohamed, H. A., El-Monaem, E. M. A., & El-Subruiti, G. M. (2020). Mesoporous Magnetic Biochar Composite for Enhanced Adsorption of Malachite Green Dye: Characterization, Adsorption Kinetics, Thermodynamics And Isotherms. *Advanced Powder Technology*, 1–11.
- Gad, H. A., El-Ahmady, S. H., Abou-Shoer, M. I., & Al-Azizi, M. M. (2012). Application of Chemometrics in Authentication of Herbal Medicines: A Review. *Phytochemical Analysis*, 1–18.
- Gniadek, M., & Dąbrowska, A. (2019). The Marine Nano- and Microplastics Characterisation by SEM-EDX: The Potential of The Method in Comparison with Various Physical and Chemical Approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 210–216.
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivator H₃PO₄ untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), 5–10.
- Gupta, N., Kushwaha, A. K., & Chattopadhyaya, M. C. (2012). Adsorptive Removal of Pb²⁺, Co²⁺ and Ni²⁺ by Hydroxyapatite/Chitosan Composite From Aqueous Solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43, 125–131.
- Haryanto, B., Sinaga, W. K., & Saragih, F. T. (2019). Kajian Model Interaksi pada Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd²⁺) dengan Menggunakan Adsorben dari Pasir Hitam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), 79–84.
- Hasri. (2017). Lingkungan dalam Perspektif Hadis. *Kelola: Journal of Islamic Education Management*, 2(1), 15–37.
- Haura, U., Razi, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya Pada Adsorpsi Logam Pb

- (II) dan Cr (VI). *Biopropal Industri*, 8(1), 47–54.
- Hidayati, E. N. (2013). *Perbandingan Metode Destruksi Pada Analisis Pb Dalam Rambut Dengan AAS*. Universitas Negeri Semarang.
- Ho, Y. S. (2014). The Real Pseudo-Second-Order Rate Equation. *Industrial Crops and Products*, 52, 17.
- Imawati, A., & Adhitiyawarman. (2015). Kapasitas Adsorpsi Maksimum Ion Pb (II) oleh Arang Aktif Ampas Kopi Teraktivasi HCl dan H₃PO₄. *Jurnal Kimia Khatulistiwa (JKK)*, 4(2), 50–61.
- Irmanto, & Suyata. (2009). Penurunan Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. *Molekul*, 4(2), 105–114.
- Issabayeva, G., Aroua, M. K., & Sulaiman, N. M. N. (2006). Removal of Lead From Aqueous Solutions on Palm Shell Activated Carbon. *Bioresource Technology*, 97, 2350–2355.
- Istianah. (2015). Upaya Pelestarian Lingkungan Hidup dalam Perspektif Hadis. *Jurnal Riwayat*, 1(2), 249–270.
- Jiang, J., Xu, R. kou, Jiang, T. yu, & Li, Z. (2012). Immobilization of Cu(II), Pb(II) and Cd(II) by The Addition of Rice Straw Derived Biochar To a Simulated Polluted Ultisol. *Journal of Hazardous Materials*, 229–230, 145–150.
- Julinawati, Marlina, Nasution, R., & Sheilatina. (2015). Applying SEM-EDX Techniques to Identifying The Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural Unsyiah*, 15(2), 1411–8513.
- Juwita, L. (2003). Karakterisasi Material Menggunakan XRF, XRD, dan SEM-EDX. *Jurnal Teknik*, 2(2), 177–192.
- Kamarati, K. F. A., Ivanhoe A, M., & Sumaryono, M. (2018). Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) dan Mangan (Mn) pada Air Sungai Santan. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 4(1), 50–56.
- Kamarudin, M. K. A., & Yunus, K. (2015). Heavy Metal in Fish: Analysis and Human Health-a Review. *Jurnal Teknologi*, 77(1), 61–69.
- Kemenkes RI. (1990). *Peraturan Menteri Kesehatan No. 416 Tahun 1990 Tentang: Syarat-Syarat dan Pengawasan*

Kualitas Air. 416, 1–16.

- Khanifa, L. N., Mulyatun, & Suryandari, E. T. (2019). Uji Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cu 2+ Menggunakan Hidrochar Eichhornia Crassipes Termodifikasi H₂O₂. *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(2), 64–79.
- Kholifah, N., Muflihati, I., & Nurlaili, E. P. (2018). Modifikasi Pati Jagung Melalui Reaksi Oksidasi Hidrogen Peroksida (H₂O₂) dan Sinar Ultraviolet-C (UV-C). *Jurnal Pangan Dan Gizi*, 8(2), 91–104.
- Komkiene, J., & Baltreinaite, E. (2016). Biochar as Adsorbent for Removal of Heavy Metal Ions [Cadmium(II), Copper(II), Lead(II), Zinc(II)] from Aqueous Phase. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(2), 471–482.
- Kumar, S., Loganathan, V. A., Gupta, R. B., & Barnett, M. O. (2011). An Assessment of U(VI) Removal from Groundwater Using Biochar Produced From Hydrothermal Carbonization. *Journal of Environmental Management*, 92, 2504–2512.
- Kurniawan, M. I., Abdullah, Z., Rahmadani, A., Zein, R., & Munaf, E. (2014). Isotherm and Kinetic Modeling of Pb (II) and Cu (II) Uptake by *Annona muricata* L. Seeds. *Asian Journal of Chemistry*, 26(12), 3588–3594.
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., & Purbaningias, T. E. (2016). Kinetic Study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *Eksakta*, 13(1–2), 11–21.
- Kusuma, A. T., Effendi, N., Abidin, Z., & Awaliah, S. S. (2019). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Raksa (Hg) Pada Cat Rambut Yang Beredar Di Kota Makassar Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Celebes Environmental Science Journal*, 1(1), 6–12.
- Liu, Z., & Zhang, F. S. (2009). Removal of Lead from Water Using Biochars Prepared From Hydrothermal Liquefaction of Biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 933–939.
- Lokahita, B., Aziz, M., & Takahashi, F. (2020). Current Status of Hydrothermal Treatment for Energy and Material Recovery Toward a Sustainable Post-consumer Material

- Cycle. *Makara Journal of Technology*, 24(1), 25–33.
- Martina, D., Hastuti, R., & Widodo, D. S. (2016). Peran Adsorben Selulosa Tongkol Jagung (*Zea mays*) dengan Polivinil Alkohol (PVA) untuk Penyerapan Ion Logam Timbal (Pb²⁺). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(3), 77–82.
- Mawardi, M. (2014). Air dan Masa Depan Kehidupan. *Jurnal Tarjih Dan Pengembangan Pemikiran Islam*, 12(1), 131–142.
- Mohamed, G. M., El-Shafey, O. I., & Fathy, N. A. (2017). Preparation of Carbonaceous Hydrochar Adsorbents from Cellulose and Lignin Derived from Rice Straw. *Egyptian Journal of Chemistry*, 60(5), 793–804.
- Mohiuddin, K. M., Ogawa, Y., Zakir, H. M., Otomo, K., & Shikazono, N. (2011). Heavy Metal Contamination in Water and Sediments of an Urban River in a Developing Country. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8(4), 723–736.
- Mufrodi, Z., Widiastuti, N., & Kardika, R. C. (2008). Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) Untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Kimia Dan Tekstil*, 90–93.
- Mulia, K., Hasan, A. E. Z., & Suryani. (2016). Total Phenolic, Anticancer and Antioxidant Activity of Ethanol Extract of Piper retrofractum Vahl from Pamekasan and Karang Asem. *Current Biochemistry*, 3(2), 80–90.
- Munajad, A., Subroto, C., & Suwarno. (2018). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy Analysis of Transformer Paper in Mineral Oil-Paper Composite Insulation Under Accelerated Thermal Aging. *Energies*, 11(364), 1–12.
- Murthy, T. P. K., Gowrishankar, B. S., Krishna, R. H., Chandraprabha, M. N., & Mathew, B. B. (2020). Magnetic Modification of Coffee Husk Hydrochar for Adsorptive Removal of Methylene Blue: Isotherms, Kinetics and Thermodynamic Studies. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2, 205–212.
- Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J. P. A., Roberto, I. C., &

- Teixeira, J. A. (2011). A Study on Chemical Constituents and Sugars Extraction From Spent Coffee Grounds. *Carbohydrate Polymers*, *83*, 368–374.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, *4*(5), 661–672.
- Ningsih, D. A., Said, I., & Ningsih, P. (2016). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung. *Jurnal Akademika Kimia*, *5*(2), 55–60.
- Nisah, K., Nasution, R. S., & Muddassir, Y. (2021). Perbandingan Adsorben Daun Nipah (*Nypa fruticans*) dan Serabut Buah Nipah Terhadap Zat Warna Methylene Blue. *Amina*, *3*(1), 1–7.
- Nurzihan, A., Nuri HRP, R. U., Siregar, S. H., & Nasution, H. (2019). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Bentonit Termodifikasi Ethylene Diamine Tetra Aceticacid (EDTA). *Prosiding Sains TeKes*, *1*, 1–13.
- Nzediegwu, C., Naeth, M. A., & Chang, S. X. (2021). Lead (II) Adsorption on Microwave-Pyrolyzed Biochars and Hydrochars Depends on Feedstock Type and Production Temperature. *Journal of Hazardous Materials*, *412*, 1–12.
- Pranoto, P., Martini, T., & Rachmawati, D. A. (2018). Karakterisasi dan Uji Efektivitas Allophane-Like untuk Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, *14*(2), 202–218.
- Rahmat, S., & Suwarno. (2020). Analisa Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier dan Gas Terlarut Terhadap Perubahan Gugus Fungsi Komposisi Minyak Ester. *Jurnal Infotekmesin*, *11*(1), 14–23.
- Rahmi, R., & Sajidah. (2017). Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) dalam Limbah Cair. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 271–279.
- Román, S., Nabais, J. M. V., Laginhas, C., Ledesma, B., & González, J. F. (2012). Hydrothermal Carbonization as an Effective Way of Densifying The Energy Content of Biomass. *Fuel*

- Processing Technology*, 103, 78–83.
- Sanjaya, A. S., & Agustine, R. P. (2015). Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. *Jurnal Konversi*, 4(1), 17–24.
- Sarode, S., Upadhyay, P., Khosa, M. A., Mak, T., Shakir, A., Song, S., & Ullah, A. (2018). Overview of Wastewater Treatment Methods with Special Focus on Biopolymer Chitin-Chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1–58.
- Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2009). Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya). In *USU Digital Library*. Universitas Sumatera Utara.
- Sihite, E. B., & Budiarto. (2019). Analisis Pengaruh Penuaan Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Strukturmikro Paduan Cuhfco. *Jurnal Kajian Ilmiah*, 19(3), 231–238.
- Silakova, M. (2018). *Hydrothermal Carbonization of the Tropical Biomass*. Lappeenranta University of Technology.
- Siregar, T. (2011). Interaksi Ion Pb²⁺ Pada Biomassa Fitoplankton Laut Tetraselmis chuii. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 7(4), 192–201.
- Solikha, D. F. (2019). Penentuan Kadar Tembaga (II) Pada Sampel Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) pada Perkin Erlmer Analyst 100 Metode Kurva Kalibrasi. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 4(2), 1–11.
- Song, X., Liu, H., Cheng, L., & Qu, Y. (2010). Surface Modification of Coconut-Based Activated Carbon by Liquid-Phase Oxidation and its Effects on Lead Ion Adsorption. *Desalination*, 255, 78–83.
- Sudarwin. (2008). *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang*. Fakultas Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(2), 44–50.
- Suprabawati, A., Holiyah, N. W., & Jasmansyah. (2018). Kulit

- Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Sebagai Karbon Aktif dengan Berbagai Langkah Pembuatan untuk Adsorpsi Logam Timbal (Pb²⁺) dalam Air. *Jurnal Kartika Kimia*, 1(1), 21–28.
- Susana, T. (2003). Air Sebagai Sumber Kehidupan. *Jurnal Oseana*, 28(3), 17–25.
- 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.
- Tangio, J. S. (2013). Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Entropi*, 8(1), 500–506.
- Tsai, W. T. (2017). The Potential of Pyrolysing Exhausted Coffee Residue for the Production of Biochar. In *Handbook of Coffee Processing By-Products*. Taiwan: Elsevier Inc.
- Venugopal, V., & Mohanty, K. (2011). Biosorptive Uptake of Cr(VI) From Aqueous Solutions by *Parthenium hysterophorus* Weed: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamic Studies. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 151–158.
- Widayatno, T., Yuliawati, T., & Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 17–23.
- Wiryono. (2013). *Pengantar Ilmu Lingkungan*. Bengkulu: Pertelon Media.
- Wulandari, Y., Kurniasari, L., & Riwayatni, I. (2014). Adsorpsi Logam Timbal dalam Larutan Menggunakan Kulit Ketela Rambat (*Ipomoea batatas* L). *Prosiding SNST*, 75–80.
- Xue, Y., Gao, B., Yao, Y., Inyang, M., Zhang, M., Zimmerman, A. R., & Ro, K. S. (2012). Hydrogen Peroxide Modification Enhances The Ability of Biochar (Hydrochar) Produced from Hydrothermal Carbonization of Peanut Hull to Remove Aqueous Heavy Metals: Batch and Column Tests. *Chemical Engineering Journal*, 200–202, 673–680.
- Yulaipi, S., & Aunurohim. (2013). Bioakumulasi Logam Berat

Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(2), 166–170.

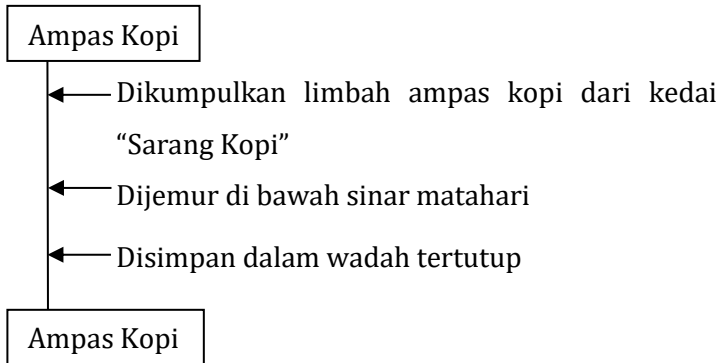
Zhang, X., Zhang, Y., Ngo, H. H., Guo, W., Wen, H., Zhang, D., Li, C., & Qi, L. (2020). Characterization and Sulfonamide Antibiotics Adsorption Capacity of Spent Coffee Grounds Based Biochar and Hydrochar. *Journal Science of the Total Environment*, 716, 1–10.

Zuorro, A., & Lavecchia, R. (2012). Spent Coffee Grounds as a Valuable Source of Phenolic Compounds and Bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 34, 49–56.

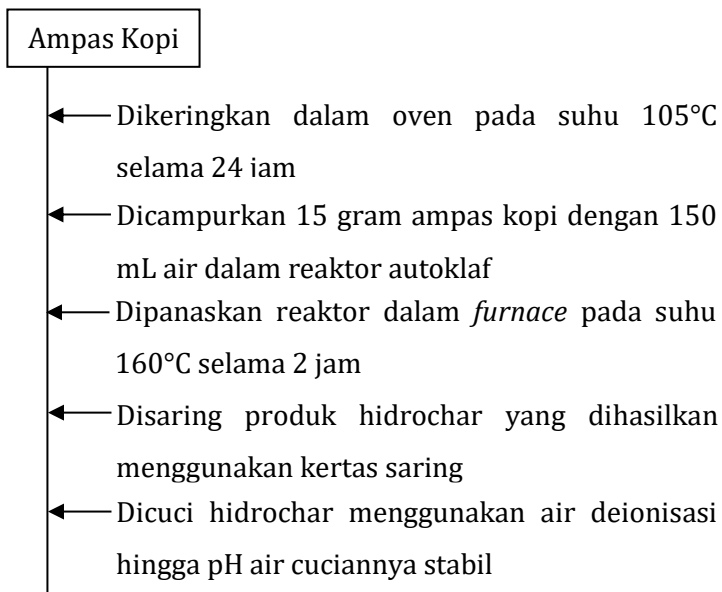
LAMPIRAN-LAMPIRAN

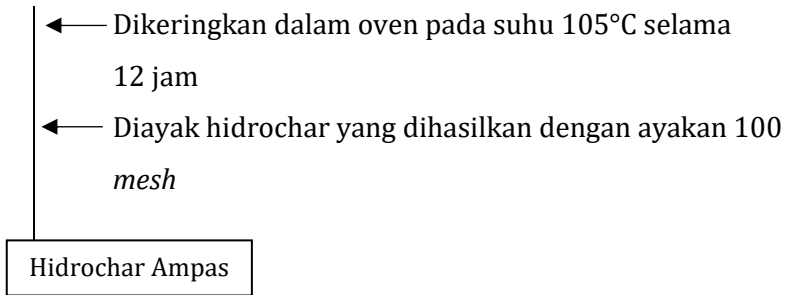
Lampiran 1 : Skema Prosedur Kerja

A. Preparasi Sampel

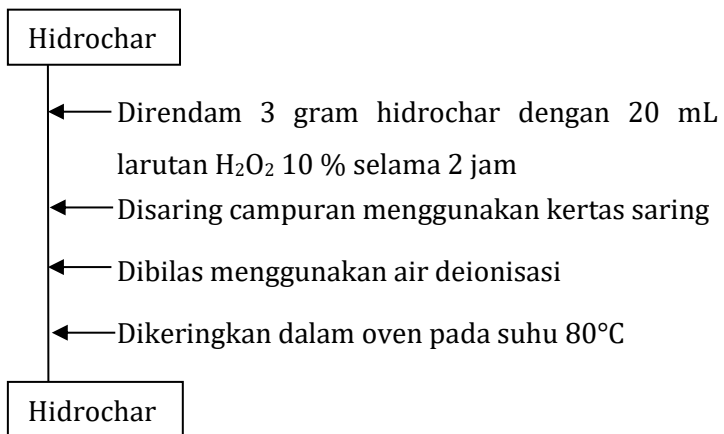


B. Sintesis Hidrochar Ampas Kopi



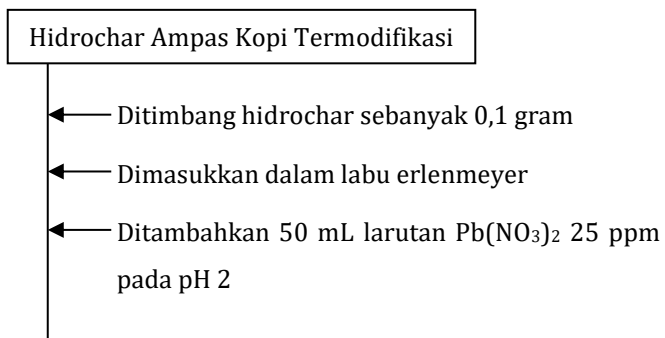


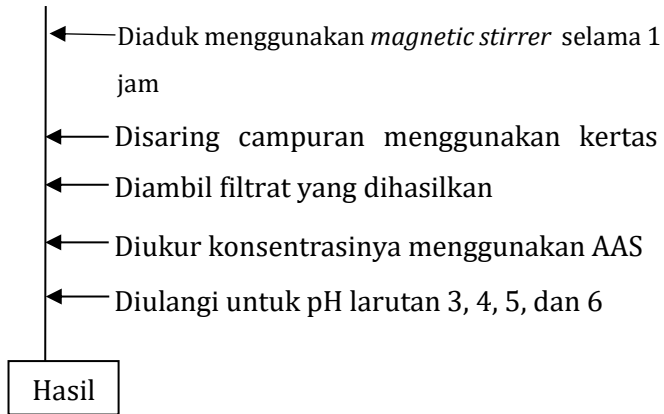
C. Modifikasi Hydrochar Ampas Kopi



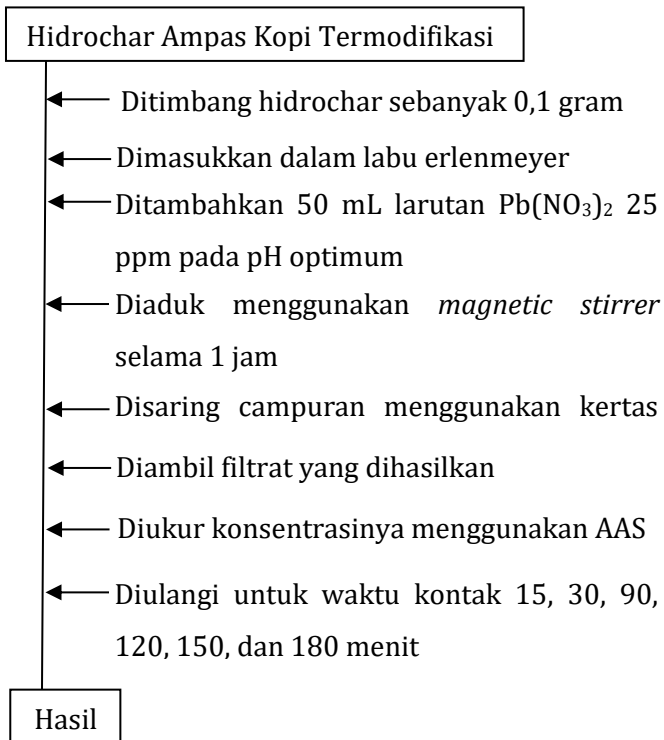
D. Optimasi Adsorpsi Ion Logam Pb(II)

1. Variasi pH Optimum

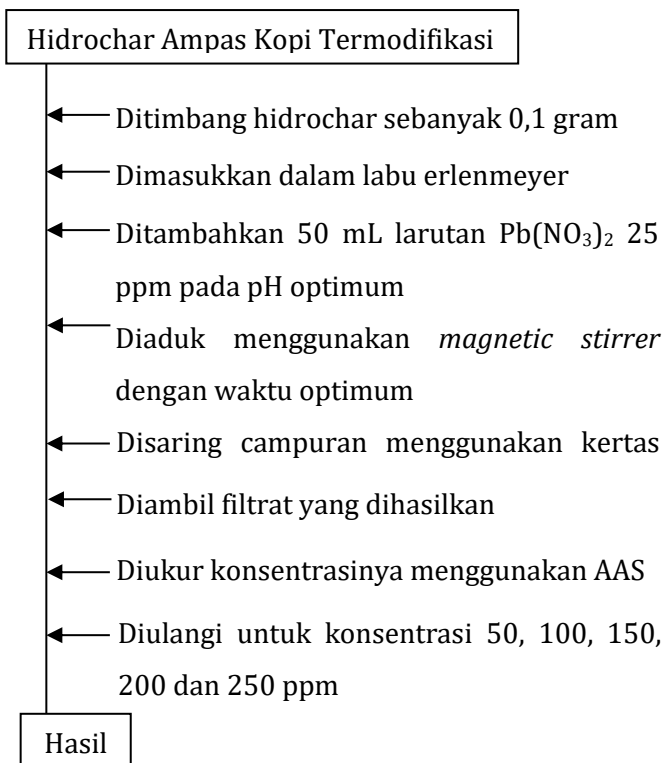




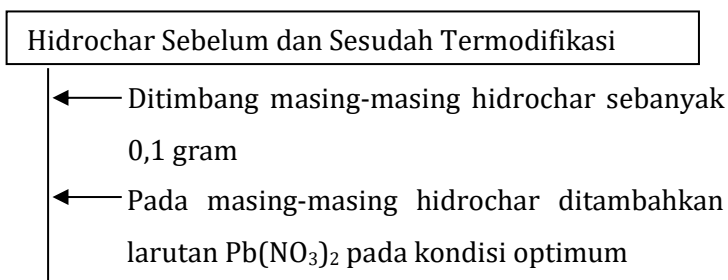
2. Variasi Waktu Kontak Optimum

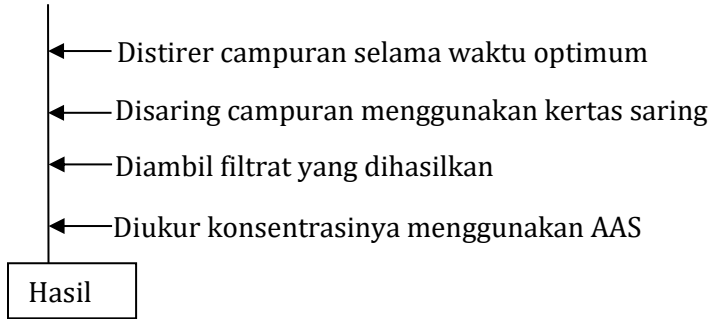


3. Variasi Konsentrasi Optimum

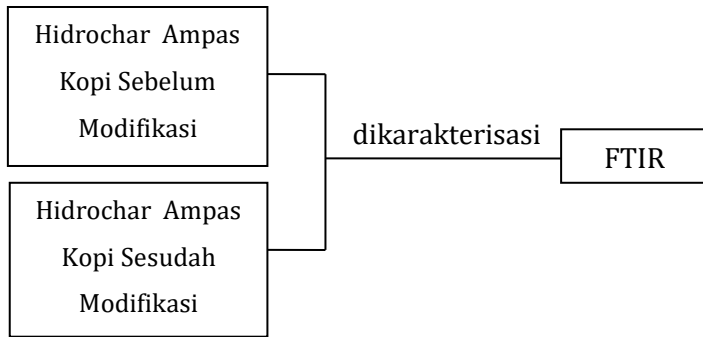


E. Perbandingan Adsorpsi Hidrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi Terhadap Ion $Pb(II)$

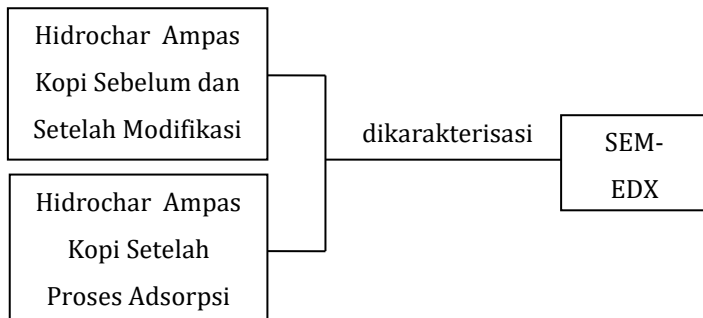




F. Karakterisasi Hidrochar Menggunakan FTIR



G. Karakterisasi Hidrochar Menggunakan SEM-EDX



Lampiran 2 : Data Hasil Percobaan

A. Data Pengukuran Kurva Kalibrasi Ion Logam Pb(II)

1. Tabel Data Absorbansi Larutan Standar Pb

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
0,25	0,014
0,5	0,031
1	0,054
2	0,098
4	0,191

2. Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar Timbal

No	X_i	Y_i	$X_i - \bar{X}_i$	$Y_i - \bar{Y}_i$
1.	0	0	-1,2917	-0,0647
2.	0,25	0,014	-1,0417	-0,0507
3.	0,5	0,031	-0,7917	-0,0337
4.	1	0,054	-0,2917	-0,0107
5.	2	0,098	0,7083	0,0333
6.	4	0,191	2,7083	0,1263
$\Sigma =$	7,75	0,388	0,0000	0,0000

No	$(X_i - \bar{X}_i) (Y_i - \bar{Y}_i)$	$(X_i - \bar{X}_i)^2$	$(Y_i - \bar{Y}_i)^2$
1.	0,0835	1,6684	0,0042
2.	0,0528	1,0851	0,0026
3.	0,0267	0,6267	0,0011
4.	0,0031	0,0851	0,0001
5.	0,0236	0,5017	0,0011
6.	0,3422	7,3351	0,0160
$\Sigma =$	0,5318	11,3021	0,0251

$$a. \bar{X}_i = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{7,75}{6} = 1,2917$$

$$b. \bar{Y}_i = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{0,388}{6} = 0,0647$$

$$c. y = ax + b$$

$a = \text{slope}$

$b = \text{intercept}$

$$a = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2}$$

$$= \frac{0,5318}{11,3021}$$

$$= 0,0471$$

$$b = y - ax$$

$$= 0,0647 - (0,0471)(1,2917)$$

$$= 0,0039$$

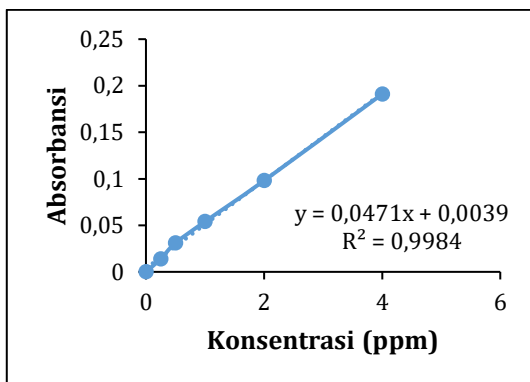
$$\text{maka } y = 0,0471x + 0,0039$$

d. Koefisien Korelasi

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$= \frac{0,5318}{\sqrt{0,2836}} = \frac{0,5318}{0,5326} = 0,9984$$

3. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Timbal



B. Data Optimasi Adsorpsi Ion Pb(II)

1. Data Optimasi pH

pH	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)
2	25	22,154	1,423
3	25	15,782	4,609
4	25	14,133	5,4335
5	25	3,132	10,934
6	25	3,329	10,8355

2. Data Optimasi Waktu Kontak

Waktu (menit)	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)
15	25	1,6999	11,65
30	25	1,145	11,9275
60	25	0,963	12,0185
90	25	0,435	12,2825
120	25	0,209	12,3955
150	25	0,232	12,384
180	25	1,1057	11,9471

3. Data Optimasi Konsentrasi

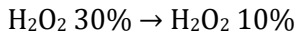
Konsentrasi (ppm)	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)
25	25	3,4716	10,7642
50	50	1,598	24,201
100	100	12,1	43,95
150	150	23,6	63,2
200	200	32,22	83,89
250	250	102,53	73,735

C. Data Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Hidrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi

Jenis Hidrochar	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)
Sebelum Modifikasi	200	77,93	61,035
Sesudah Modifikasi	200	70,49	64,755

Lampiran 3 : Analisa Data

A. Perhitungan Pembuatan Larutan H₂O₂ 10% sebanyak 50 mL



$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$30\% \cdot V_1 = 10\% \cdot 50 \text{ mL}$$

$$0,3 \cdot V_1 = 0,1 \cdot 50 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,1 \cdot 50 \text{ mL}}{0,3}$$

$$= 16,67 \text{ mL}$$

B. Perhitungan Pembuatan Larutan Limbah Pb(II)

1. Larutan Induk Pb(NO₃)₂ 1000 ppm sebanyak 1 Liter

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \frac{\text{ppm} \times V \times \text{Mr Pb(NO}_3)_2}{\text{Ar Pb(II)}} \\ &= \frac{1000 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L} \times 331 \text{ gr/mol}}{207 \text{ gr/mol}} \\ &= 1599,03 \text{ mg} \\ &= 1,599 \text{ gram} \end{aligned}$$

2. Pengenceran Larutan Pb(NO₃)₂ 1000 ppm menjadi 25 ppm sebanyak 500 mL

$$\begin{aligned} M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 25 \text{ ppm} \cdot 500 \text{ mL} \\ V_1 &= \frac{25 \text{ ppm} \cdot 500 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} \\ V_1 &= 12,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

3. Pengenceran Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm menjadi 25 ppm sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 25 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{25 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}\end{aligned}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ mL}$$

4. Pengenceran Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm menjadi 50 ppm sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 50 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{50 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}\end{aligned}$$

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

5. Pengenceran Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm menjadi 100 ppm sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 100 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL} \\V_1 &= \frac{100 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}\end{aligned}$$

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

6. Pengenceran Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm menjadi 150 ppm sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned}M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\1000 \text{ ppm} \cdot V_1 &= 150 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}\end{aligned}$$

$$V_1 = \frac{150 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

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

7. Pengenceran Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm menjadi 200 ppm sebanyak 100 mL

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \cdot V_1 = 200 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{200 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

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

8. Pengenceran Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1000 ppm menjadi 250 ppm sebanyak 100 mL

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \cdot V_1 = 250 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{250 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

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

C. Perhitungan Pembuatan Larutan HNO_3 0,1 M sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned} M &= \frac{10 \times \% \times \rho}{M_r} \\ &= \frac{10 \times 65 \times 1,39}{63} \\ &= 14,34 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\
 14,34 \text{ M} \cdot V_1 &= 0,1 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL} \\
 V_1 &= \frac{0,1 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL}}{14,34 \text{ M}} \\
 V_1 &= 0,697 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Pembuatan Larutan NaOH 0,1 M sebanyak 100 mL

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{\text{Massa}}{M_r} \times \frac{1000}{V} \\
 0,1 &= \frac{X}{40} \times \frac{1000 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \\
 X &= 0,4 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Hasil Hidrochar

$$\begin{aligned}
 \text{Hasil Hidrochar} &= \frac{\text{Massa hidrochar}}{\text{Massa Ampas kopi}} \times 100\% \\
 &= \frac{9,56 \text{ gram}}{15 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 63,7\%
 \end{aligned}$$

F. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Kondisi Optimum

1. Perhitungan Optimasi pH

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{W} \times V$$

a. pH 2

$$q_e = \frac{(25 - 22,154) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 1,423 \text{ mg/g}$$

b. pH 3

$$q_e = \frac{(25 - 15,782) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 4,609 \text{ mg/g}$$

c. pH 4

$$q_e = \frac{(25 - 14,133) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 5,4335 \text{ mg/g}$$

d. pH 5

$$q_e = \frac{(25 - 3,132) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 10,934 \text{ mg/g}$$

e. pH 6

$$q_e = \frac{(25 - 3,329) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 10,8355 \text{ mg/g}$$

2. Perhitungan Optimasi Waktu Kontak

a. Waktu Kontak 15 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 1,6999) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 11,65 \text{ mg/g}$$

b. Waktu Kontak 30 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 1,145) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 11,9275 \text{ mg/g}$$

c. Waktu Kontak 60 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 0,963) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 12,0185 \text{ mg/g}$$

d. Waktu Kontak 90 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 0,435) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 12,2825 \text{ mg/g}$$

e. Waktu Kontak 120 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 0,209) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 12,3955 \text{ mg/g}$$

f. Waktu Kontak 150 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 0,232) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 12,384 \text{ mg/g}$$

g. Waktu Kontak 180 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 1,1057) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 11,9471 \text{ mg/g}$$

3. Perhitungan Optimasi Konsentrasi

a. Konsentrasi 25 ppm

$$q_e = \frac{(25 - 3,4716) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 10,7642 \text{ mg/g}$$

b. Konsentrasi 50 ppm

$$q_e = \frac{(50 - 1,598) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 24,201 \text{ mg/g}$$

c. Konsentrasi 100 ppm

$$q_e = \frac{(100 - 12,1) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 43,95 \text{ mg/g}$$

d. Konsentrasi 150 ppm

$$q_e = \frac{(150 - 23,6) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 63,2 \text{ mg/g}$$

e. Konsentrasi 200 ppm

$$q_e = \frac{(200 - 32,22) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 83,89 \text{ mg/g}$$

f. Konsentrasi 250 ppm

$$q_e = \frac{(250 - 102,53) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 73,735 \text{ mg/g}$$

G. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi pada Perbedaan Jenis Hydrochar dalam Kondisi Optimum

1. Hydrochar Sebelum Modifikasi

$$q_e = \frac{(200 - 77,93) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$= 61,035 \text{ mg/g}$$

2. Hydrochar Sesudah Modifikasi

$$q_e = \frac{(200 - 70,49) \text{ ppm}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$= 64,755 \text{ mg/g}$$

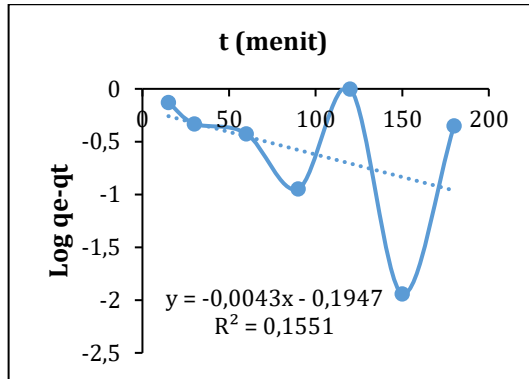
H. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

1. Pseudo Orde Satu

Data Penentuan Pseudo Orde Satu

t (menit)	q _t (mg/g)	q _e (mg/g)	q _e - q _t (mg/g)	Log (q _e - q _t)
15	11,65	12,3955	0,7455	-0,1275
30	11,9275	12,3955	0,468	-0,3297
60	12,0185	12,3955	0,377	-0,4236
90	12,2825	12,3955	0,113	-0,9469
120	12,3955	12,3955	0	0
150	12,384	12,3955	0,0115	-1,9393
180	11,9471	12,3955	0,4484	-0,3483

Berdasarkan tabel diatas dapat dibuat kurva t vs log (q_e - q_t) dengan *slope* adalah k₁ dan *intercept* adalah q_e. Kurva t vs log (q_e - q_t) ditunjukkan pada gambar berikut:



Berdasarkan gambar kurva di atas, diperoleh persamaan *pseudo* orde satu adalah $y = -0,0043x - 0,1947$ dan $R^2 = 0,1551$. Untuk mencari nilai k_1 dan q_e dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0043x - 0,1947$$

$$R^2 = 0,1551$$

a. Perhitungan Nilai k_1

$$\frac{k_1}{2,303} = a$$

$$\frac{k_1}{2,303} = -0,0043$$

$$k_1 = -0,0099$$

b. Perhitungan Nilai q_e

$$\text{Log } q_e = b$$

$$\text{Log } q_e = -0,1947$$

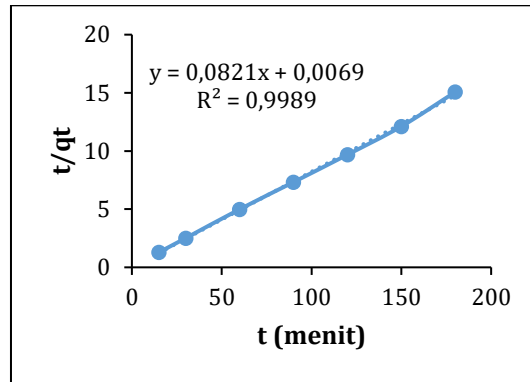
$$q_e = 10^{-0,1947} = 0,6387$$

2. Pseudo Orde Dua

Data Penentuan Pseudo Orde Dua

t (menit)	q _t (mg/g)	t/q _t
15	11,65	1,2876
30	11,9275	2,5152
60	12,0185	4,9923
90	12,2825	7,3275
120	12,3955	9,6809
150	12,384	12,1124
180	11,9471	15,0664

Berdasarkan tabel di atas, dapat dibuat kurva t vs t/q_t dengan *slope* adalah $1/q_e$ dan *intercept* adalah $1/k_2q_e^2$. Kurva t vs t/q_t ditunjukkan pada gambar berikut:



Berdasarkan gambar kurva di atas, diperoleh persamaan *pseudo* orde dua yaitu $y = 0,0821x + 0,0069$ dan $R^2 = 0,9989$. Untuk mencari nilai k_2 dan q_e dapat dihitung dengan cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0821x + 0,0069$$

$$R^2 = 0,9989$$

a. Perhitungan Nilai q_e

$$\frac{1}{q_e} = a$$

$$\frac{1}{q_e} = 0,0821$$

$$q_e = \frac{1}{0,0821}$$

$$q_e = 12,1802$$

b. Perhitungan Nilai k_2

$$\frac{1}{k_2 q_e^2} = b$$

$$\frac{1}{k_2 \cdot (12,1802)^2} = 0,0069$$

$$k_2 = \frac{1}{0,0069 \cdot (12,1802)^2}$$

$$k_2 = 0,9769$$

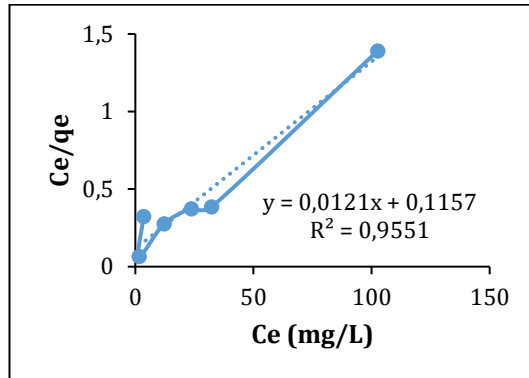
I. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

1. Isoterm Langmuir

Data Penentuan Isoterm Langmuir

C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
25	3,4716	10,7642	0,3225
50	1,598	24,201	0,066
100	12,1	43,95	0,2753
150	23,6	63,2	0,3734
200	32,22	83,89	0,3841
250	102,53	73,735	1,3905

Berdasarkan data pada tabel di atas, dapat dibuat kurva C_e vs C_e/q_e dengan *slope* adalah $1/q_m$ dan *intercept* adalah $1/K_L q_m$. Kurva C_e vs C_e/q_e ditunjukkan pada gambar berikut:



Berdasarkan kurva di atas, diperoleh persamaan isoterm Langmuir adalah $y = 0,0121x + 0,1157$ dan $R^2 = 0,9551$. Nilai q_m dan K_L dapat dihitung dengan cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0121x + 0,1157$$

a. Perhitungan Nilai q_m

$$\frac{1}{q_m} = a$$

$$\frac{1}{q_m} = 0,0121$$

$$q_m = \frac{1}{0,0121}$$

$$q_m = 82,6446$$

b. Perhitungan Nilai K_L

$$\frac{1}{K_L q_m} = b$$

$$\frac{1}{K_L \cdot 82,6446} = 0,1157$$

$$K_L = \frac{1}{0,1157 \cdot 82,6446}$$

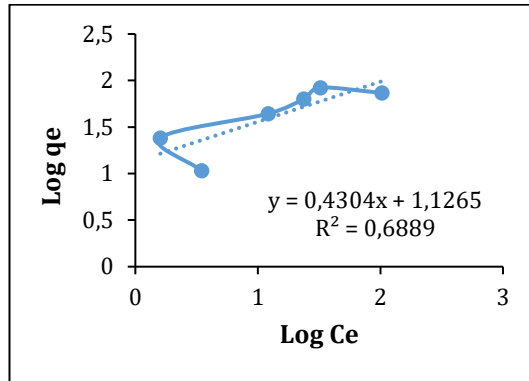
$$K_L = 0,1045$$

2. Isoterm Freundlich

Data Penentuan Isoterm Freundlich

C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	Log C_e	Log q_e
25	3,4716	10,7642	0,5405	1,0319
50	1,598	24,201	0,2035	1,3838
100	12,1	43,95	1,0827	1,6429
150	23,6	63,2	1,3729	1,8007
200	32,22	83,89	1,5081	1,9237
250	102,53	73,735	2,0108	1,8676

Berdasarkan data pada tabel di atas, dapat dibuat kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$ dengan *slope* adalah $1/n$ dan *intercept* adalah K_F . Kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$ ditunjukkan pada gambar berikut:



Berdasarkan kurva di atas, diperoleh persamaan isoterm Freundlich adalah $y = 0,4304x + 1,1265$ dan $R^2 = 0,6889$. Nilai n dan K_F dapat dihitung dengan cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,4304x + 1,1265$$

a. Perhitungan Nilai n

$$\frac{1}{n} = a$$

$$\frac{1}{n} = 0,4304$$

$$n = \frac{1}{0,4304}$$

$$n = 2,3234$$

b. Perhitungan Nilai K_f

$$\text{Log } K_F = b$$

$$\text{Log } K_F = 1,1265$$

$$K_F = 10^{1,1265}$$

$$K_F = 13,3813$$

Lampiran 4 : Dokumentasi Percobaan



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Hanika Rizky Ramadani
2. TTL : Jakarta, 6 Januari 2000
3. Alamat : Perumahan Nirwana Blok A No. 11
Pulutan Karanggede Boyolali Jawa
Tengah
4. No. Telepon : 085601973204
5. E-mail : ramadanihanika@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. TK Islam Al Istiqomah (2005 - 2006)
2. MI Muhammadiyah Cekelan (2006 - 2012)
3. MTS Negeri 5 Boyolali (2012 - 2015)
4. SMA Negeri 3 Salatiga (2015 - 2018)