

Dyah Fitasari, M.Si
Hanika Rizky Ramadani



HIDROCHAR AMPAS KOPI TERMODIFIKASI H_2O_2 SEBAGAI ADSORBEN UNTUK ION LOGAM Cd(II)



LAPORAN
PENELITIAN

Dibiayai dengan Anggaran DIPA BOPTN
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang
Tahun 2022

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



Diajukan oleh:

Ketua: Dyah Fitasari, M.Si (198501022019032017)

Anggota: Hanika Rizky Ramadani (1808036031)

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
WALISONGOSEMARANG
2022**



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN
KEPADA MASYARAKAT

Jalan Walisongo No. 3-5 Semarang 50185
Email: lp2m@walisongo.ac.id, Website: lp2m.walisongo.ac.id

SURAT KETERANGAN

Nomor: 1850/Un.10.0/L.1/TA.00.08/12/2022

Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP2M) UIN Walisongo Semarang, dengan ini menerangkan bahwa Penelitian yang dibiayai oleh Anggaran DIPA-BOPTN FST tahun 2022 dengan judul:

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben untuk Ion Logam Berat Cd (II)

adalah benar-benar merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan oleh:

Nama Ketua	: Dyah Fitasari, M Si
NIP/ID Peneliti	: 19850102 2019032017
Jabatan Fungsional	: Asisten Ahli
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Nama Anggota	: Hanika Rizky Ramadani
NIM	: 1808036031
Jabatan	: Anggota Peneliti
Fakultas	: Sains dan Teknologi

Demikian surat keterangan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur kami panjatkan selalu kepada Allah Subhanahuwata'ala atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah yang sudah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya penelitian dosen yang berjudul “Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II).” dengan tepat waktu.

Shalawat serta salam tidak lupa kami haturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing kita ke jalan yang diridhoi-Nya, aamiin. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan penelitian ini oleh karena itu penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun dari para pembaca. Semoga hasil karya penelitian ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya.

Kemudian tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Direktorat Jenderal Pendidikan Islam Kementerian Agama RI
2. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang
3. Segala pihak yang sudah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi para pembaca dan semoga amal baik yang telah Bapak, Ibu, Saudara/i berikan pada penulis akan mendapatkan balasan yang sebaik mungkin dari Allah SWT, Aamiin.

Semarang, Desember
2022

Penulis

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

ABSTRAK

Ampas kopi yang dikonversi menjadi hidrochar dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan kadar ion logam Cd(II) dalam air. Hidrochar ampas kopi diproduksi menggunakan metode karbonisasi hidrotermal pada suhu 150-350°C. Pada penelitian ini, dilakukan modifikasi terhadap hidrochar ampas kopi menggunakan larutan H_2O_2 . Modifikasi pada hidrochar bertujuan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrochar terhadap ion logam Cd(II). Hidrochar termodifikasi yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR dan SEM-EDX. Analisis spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi hidroksil, karboksil, dan amina pada permukaan hidrochar yang efektif untuk mengikat ion logam. 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 logam Cd(II) yang paling optimum terjadi pada pH 6 dan waktu kontak 120 menit. Pemodelan kinetika adsorpsi menunjukkan hasil yang baik dengan pola kinetika pseudo orde dua dengan nilai regresi sebesar 0,9998

Kata Kunci: Hydrochar; ampas kopi; H_2O_2 ; Cd(II)

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

DAFTAR ISI

JUDUL	ii
Surat Keterangan	iii
Kata Pengantar	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Tujuan Penelitian.....	8
D. Manfaat.....	9
BAB II LANDASAN PUSTAKA.....	11
A. Hydrochar.....	11
B. Biomassa	16
C. Ampas Kopi.....	19
D. Adsorpsi.....	25
E. Logam Berat Kadmium (Cd).....	28
F. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	33

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

G. <i>Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	41
H. <i>Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)</i>	45
I. Kajian Pustaka	49
BAB III METODE PENELITIAN	53
A. Waktu dan Tempat Penelitian	53
B. Alat dan Bahan.....	54
C. Cara Kerja	54
D. Analisis Data.....	58
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	61
A. Sintesis Hydrochar Ampas Kopi.....	63
B. Modifikasi Hydrochar Ampas Kopi.....	69
C. Karakterisasi Hydrochar Ampas Kopi menggunakan FTIR	70
D. Variasi Adsorpsi Ion Cd (II) Menggunakan Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi	73
E. Karakterisasi SEM-EDX Adsorben Hydrochar Ampas Kopi	84
F. Kinetika Adsorpsi	92
BAB V KESIMPULAN.....	99
DAFTAR PUSTAKA	101

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Proses Konversi Termokimia Biomassa (Kumar et al., 2011)	15
Tabel 2.2 Komposisi Kimia dari Ampas Kopi	24
Tabel 2.3 Frekuensi Regangan Inframerah untuk beberapa jenis ikatan	38
Tabel 2.4 Interpretasi Gugus Fungsi Spektrum FTIR Pada Hidrochar Ampas Kopi.....	39
Tabel 4.1 Perbandingan Serapan Gugus Fungsi FTIR Hidrochar Ampas Kopi Sebelum dan Setelah modifikasi	73
Tabel 4.2 <u>Data</u> Optimasi pH	74
Tabel 4.3 Data Optimasi Waktu Kontak.....	79
Tabel 4.4 Perbandingan Komposisi Unsur Hidrochar Sebelum dan Sesudah Modifikasi	87
Tabel 4.5 Perbandingan Komposisi Unsur Hidrochar Termodifikasi Sebelum dan Setelah Dilakukan Uji Adsorpsi	89
Tabel 4.6 Data Penentuan Pseudo Orde Satu.....	92
Tabel 4.7 Data Penentuan Pseudo Orde Dua	95

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Konsumsi Kopi di Indonesia tahun 2014-2019	20
Gambar 2.2	Biji Kopi	21
Gambar 2.3	Ampas Kopi	22
Gambar 2.4	Logam Kadmium	29
Gambar 2.5	Instrumen FTIR	35
Gambar 2.6	Skema Alat FTIR	35
Gambar 2.7	Proses Pergantian Sinyal di Sistem Peralatan Spektroskopi FTIR	36
Gambar 2.8	Hasil Spektrum FTIR Pada Hidrochar Ampas Kopi	40
Gambar 2.9	Alat SEM	42
Gambar 2.10	Hasil Makroskopis	43
Gambar 2.11	Alat AAS	47
Gambar 4.1	Hidrochar Ampas Kopi	66
Gambar 4.2	Rangkaian Pembuatan Hidrochar Ampas Kopi	68
Gambar 4.3	Perbandingan Spektrum FTIR dari Hidrochar Ampas Kopi Sebelum dan Sesudah Modifikasi	71
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Kapasitas Adsorpsi Ion Cd (II) Terhadap Variasi pH	77
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara kapasitas Adsorpsi Ion Cd (II) Terhadap Pengaruh Waktu Kontak	82

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

- Gambar 4.6** Hasil Karakterisasi SEM Hydrochar
Sebelum Modifikasi dengan Perbesaran
1000x (atas) dan 3000x (bawah)85
- Gambar 4.7** Hasil Karakterisasi SEM Hydrochar
Sesudah Modifikasi dengan Perbesaran
1000x (atas) dan 3000x (bawah).....86
- Gambar 4.8** Hasil Karakterisasi SEM Hydrochar Ampas
Kopi Modifikasi Setelah Adsorpsi dengan
Perbesaran 1000x (kiri) dan 2000x (kanan)91
- Gambar 4.9** Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu93
- Gambar 4.10** Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua.....96

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air merupakan salah satu dari tiga unsur (zat padat, air, dan atmosfer) yang menyusun bumi. Semua makhluk hidup di dunia ini membutuhkan air, mulai dari mikroorganisme hingga manusia. Tanpa air, tidak akan ada kehidupan di bumi ini. Hal ini dikarenakan air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan. Air secara umum air digunakan sebagai untuk minum, keperluan rumah tangga, industri, pengairan, pertanian, perikanan, dan lainnya (Susana, 2003). Menurut Keputusan Menteri

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Kesehatan Republik Indonesia No.
1405/MENKES/SK/XI/2002 tentang Persyaratan
Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri
adalah air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari
dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih
sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku
dan dapat diminum apabila dimasak (Kepmenkes RI,
2002).

Penggunaan air bersih untuk aktivitas sehari-hari sangat penting karena dapat membuat manusia terhindar dari berbagai penyakit (Namara et al., 2016). Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan kemajuan pembangunan, air bersih menjadi permasalahan serius yang dihadapi. Menurunnya ketersediaan air bersih dapat berdampak negatif pada berbagai bidang kehidupan (Permana et al., 2021). Penurunan kualitas air disebabkan oleh aktivitas manusia yang tidak peduli dengan lingkungan (Ding et al., 2015).

Pencemaran air pada umumnya berasal dari pembuangan limbah industri, limbah rumah tangga, limbah medis, dan limbah pertanian. Limbah-limbah tersebut dapat menurunkan kualitas air. Salah satu zat pencemar yang berbahaya adalah logam berat (Mohiuddin et al., 2011). Aktivitas manusia yang dapat menyebabkan pencemaran logam berat diantaranya pertambangan (minyak, emas, batu bara), pembangkit listrik, peleburan logam, pabrik pupuk, kegiatan industri, dan produk sintetis (pestisida, cat, baterai, limbah industri). Limbah industri mengandung bahan kontaminan zat kimia yang berbahaya dan beracun

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) seperti logam berat Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, dan As (Gultom & Lubis, 2014).

Pesatnya perkembangan industri dan pertumbuhan penduduk mengakibatkan kebutuhan manusia akan air bersih untuk keperluan sehari-hari semakin meningkat (Jun et al., 2020). Kebutuhan manusia akan air bersih sangat bervariasi. Oleh karena itu, air banyak digunakan oleh manusia untuk tujuan yang bermacam-macam 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, 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).

Pencemaran logam berat sangat berbahaya bagi lingkungan karena tidak mudah terurai seperti polutan organik yang sebagian besar dapat terurai secara alami. Pembuangan air limbah yang mengandung kontaminan

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

logam berat dapat menjadi racun bagi manusia dan lingkungan perairan. Keberadaan logam berat dalam air menimbulkan masalah yang serius karena berpotensi mutagenik dan karsinogenik (Mohammed et al., 2014). Logam berat dapat terakumulasi dalam organisme dalam jangka waktu lama sebagai racun. Logam-logam tersebut dapat masuk melalui makanan yang terkontaminasi logam berat. Jika hal ini berlangsung terus-menerus dalam jangka waktu lama, maka dapat merugikan kesehatan (Yulaipi & Aunurohim, 2013).

Limbah logam berat merupakan zat pencemar yang paling dominan, salah satunya logam berat beracun kadmium (Cd). Pencemaran logam Cd di lingkungan perairan sangat berbahaya karena termasuk salah satu jenis logam berat yang mempunyai sifat tidak dapat terurai. Logam Cd dapat terakumulasi dalam perairan dan akan mengendap di dasar membentuk senyawa kompleks dengan zat organik dan anorganik (Natsir et al., 2019). Keberadaan Cd dalam tanah diantaranya berasal dari penggunaan pestisida, limbah perkotaan, limbah industri (*sludge*), penggunaan pupuk organik, residu pembakaran bensin, kegiatan pertambangan, dan peleburan logam (Syachroni, 2017).

Salah satu logam berat yang sering terdapat dalam pencemaran air adalah kadmium (Cd) dalam bentuk senyawa toksik yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan berdampak negatif untuk lingkungan sekitar (Apriliani, 2010). Metode adsorpsi dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran logam berat yang semakin

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) meningkat karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah biaya yang relatif murah, prosesnya yang sederhana, efektifitas dan efisiensinya relatif tinggi serta tidak memberikan efek samping berupa zat beracun (Safrianti dkk, 2012).

Cd dapat terakumulasi dalam tubuh manusia dan memberikan efek jangka panjang terutama di bagian organ vital seperti hati dan ginjal (Girikallo et al., 2022). Apabila logam Cd terakumulasi dalam kadar yang sangat tinggi pada tubuh, maka dapat menyebabkan iritasi perut, muntah, diare, bahkan kematian. Pada kadar rendah paparan Cd dapat menyebabkan tulang menjadi rapuh. Logam Cd juga bersifat karsinogenik bagi manusia yaitu dapat menyebabkan kanker (U.S Department, 2012).

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran limbah ion logam diantaranya yaitu pengendapan, penukar ion menggunakan resin, filtrasi, dan adsorpsi (Tangio, 2013). Adsorpsi merupakan salah satu cara efektif yang digunakan untuk mengadsorpsi zat berbahaya pada limbah. Adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi relatif mahal sehingga diperlukan adsorben yang lebih murah dan ramah lingkungan, misalnya yang berasal dari limbah biomassa. Adsorben yang dihasilkan dari limbah biomassa, selain mengurangi beban limbah padat pada lingkungan juga dapat menurunkan biaya produksi dari adsorben tersebut (Haura et al., 2017). Menghilangkan logam berat dengan adsorpsi merupakan metode yang relatif sederhana dan hemat biaya, khususnya untuk limbah pertanian yang dimodifikasi

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) dengan tepat dapat memiliki nilai kapasitas yang tinggi untuk mengadsorpsi logam berat (Kim et al., 2014). Telah dikembangkan beberapa jenis adsorben untuk mengadsorpsi logam berat salah satunya adalah dengan memanfaatkan hidrochar (Khanifa et al., 2019).

Hidrochar adalah padatan berkarbon yang dihasilkan dari konversi biomassa dengan menggunakan metode *Hydrothermal Carbonization* (HTC). HTC merupakan proses termokimia yang dapat mengubah limbah biomassa basah menjadi bahan serupa dengan kandungan karbon yang lebih tinggi (Eriska et al., 2016). Produk padat yang dihasilkan dari proses HTC dinamakan hidrochar (Arellano et al., 2016). HTC atau metode pirolisis basah melibatkan termal degradasi biomassa basah dengan suhu rendah sekitar 180-250°C dan kondisi tekanan *autogenous*. HTC merupakan metode yang ramah lingkungan dan hemat biaya (Murthy et al., 2020). HTC juga lebih efisien daripada karbonisasi kering konvensional karena menggunakan suhu rendah dan tidak memerlukan energi yang tinggi untuk dekomposisi bahan biomassa (Mohamed et al., 2017). Salah satu biomassa basah yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan hidrochar adalah ampas kopi (Afolabi et al., 2020).

Kopi adalah salah satu produk pertanian yang paling melimpah dan komoditas yang paling banyak diperjual belikan kedua di dunia (Tsai, 2017). Kopi adalah minuman yang populer di seluruh dunia. Produksi kopi cenderung meningkat sebesar 1,2% setiap tahunnya (ICO, 2019). Minuman kopi yang dibuat dari satu ton biji kopi,

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) menghasilkan sekitar 0,65 ton limbah ampas kopi yang terbuang. Limbah ampas kopi mengandung gugus fungsi yang berbeda yaitu lignin, selulosa, asam lemak, dan hemiselosa (Kim et al., 2014). Ampas kopi dapat digunakan sebagai adsorben karena mengandung sebagian besar struktur lignin yang efektif dalam aplikasi adsorpsi (Ballesteros et al., 2014). Penggunaan biomassa ampas kopi selain murah merupakan metode yang efektif dalam mengikat ion logam berat, baik anionik maupun kationik, bahkan pada konsentrasi ion logam yang sangat rendah. Biomassa juga merupakan bahan yang bersifat tidak terurai sehingga ramah lingkungan (Tangio, 2013).

Zhang dkk (2020) menggunakan ampas kopi sebagai adsorben untuk menyerap limbah cair antibiotik sulfonamida. Adsorben limbah ampas kopi disintesis menggunakan dua metode yaitu pirolisis (biochar) dan karbonisasi hidrotermal (hidrochar). Kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan biochar 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 untuk *sulfadiazine* dan *sulfamethoxazol* masing-masing sebesar 82,2 $\mu\text{g/g}$ dan 85,7 $\mu\text{g/g}$.

Berdasarkan penjelasan di atas, hidrochar dari ampas kopi diharapkan dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan kadar ion logam Cd (II) dalam limbah cair. Larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) digunakan untuk memodifikasi hidrochar ampas kopi. Modifikasi dilakukan agar dapat meningkatkan sifat permukaannya yaitu

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada hidrochar sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrochar terhadap ion logam Cd (II) (Xue et al., 2012).

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik hidrochar dari ampas kopi yang dimodifikasi dengan larutan H_2O_2 ?
2. Bagaimana efektivitas dari hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi larutan H_2O_2 dalam mengadsorpsi ion logam Cd (II) dalam air limbah?
3. Berapa kapasitas adsorpsi dari hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi H_2O_2 terhadap ion logam Cd (II) dengan variasi pH dan waktu kontak yang optimum?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik hidrochar dari ampas kopi yang dimodifikasi dengan larutan H_2O_2 .
2. Untuk mengetahui efektivitas dari hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi larutan H_2O_2 dalam mengadsorpsi ion logam Cd (II) dalam air limbah.
3. Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi H_2O_2 terhadap ion logam Cd (II) dengan variasi pH dan waktu kontak yang optimum.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

D. Manfaat

1. Untuk memberikan informasi tambahan kepada masyarakat mengenai manfaat dari limbah ampas kopi sebagai adsorben untuk menurunkan kadar ion logam Cd (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 Cd (II).

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

BAB II

KAJIAN

TEORITIK

A. Hidrochar

Hidrochar adalah produk arang padat yang diproduksi melalui metode *Hydrothermal Carbonization* (HTC) menggunakan biomassa kaya karbon dengan adanya air cair subkritis yang disebut hidropirolisis atau pirolisis basah (Xue et al., 2012). Hidrochar memiliki karakteristik tertentu dan dapat digunakan untuk berbagai

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) aplikasi (Afolabi et al., 2020). Hidrochar memiliki pori-pori dan permukaan fungsional/aromatik yang reaktif. Karakteristik tersebut dapat menjadikan hidrochar sebagai adsorben alternatif berbiaya rendah yang efektif untuk menghilangkan logam berat dalam air. (Xue et al., 2012). Hidrochar dapat dijadikan 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 dan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan hidrochar (Liu & Zhang, 2009).

Hidrochar mengacu pada produk arang padat hasil dari *Hydrothermal Carbonization* (HTC) menggunakan biomassa kaya karbon dengan adanya air cair subkritis 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).

Hidrochar merupakan karbon yang diproduksi melalui proses karbonisasi hidrotermal pada temperatur dan tekanan tertentu pada suatu reaktor. Biasanya temperatur karbonisasi hidrotermal untuk menghasilkan

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) hidrochar berkisar pada temperatur 150-250°C. Hidrochar ditandai dengan kandungan karbon yang tinggi, pH yang rendah dan kapasitas adsorpsi yang baik (Eskandari et al., 2019). Oleh sebab itu hidrochar dapat digunakan untuk mengurangi polusi limbah organik seperti limbah zat warna, dapat menghilangkan logam berat dan polusi anorganik lainnya (Zhang et al., 2020), serta untuk memurnikan air dan juga udara. Hidrochar memiliki luas permukaan yang kecil, porositas kecil, dan kapasitas adsorpsi yang rendah sehingga harus ditambah perlakuan hidrochar yang berbeda salah satunya dengan melakukan aktivasi (Mohamed et al., 2017).

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 adalah proses konversi biomassa basah menjadi padatan yang kaya karbon. Produk yang dihasilkan dari proses HTC disebut hidrochar. Hasil dari karbonisasi berbagai bahan baku menunjukkan bahwa sebagian besar karbon yang terdapat dalam bahan baku tetap terintegrasi di dalam hidrochar (Lu et al., 2014). Selama proses HTC, bahan baku dipanaskan dalam air subkritis dengan suhu berkisar antara 180-350°C pada tekanan *autogenous*. Hal tersebut mengakibatkan bahan baku terurai dengan

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) serangkaian reaksi hidrolisis, dehidrasi, dekarboksilasi, aromatisasi, dan rekondensasi (Libra et al., 2011). HTC dapat langsung diterapkan pada bahan baku basah seperti kotoran hewan, alga, dan biomassa berpori (Xue et al., 2012). Proses HTC dapat meningkatkan hidrofobisitas biomassa, menurunkan kadar air, meningkatkan kepadatan, dan nilai kalor. Hidrochar yang dihasilkan memiliki sifat yang rapuh, padat, dan bernilai kalor tinggi (Silakova, 2018).

Selama proses HTC, biomassa dihidrolisis dan senyawa organik dipecah menjadi fragmen yang lebih kecil dan sangat tidak stabil. Biomassa kemudian 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).

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
Tabel 2. 1. Hasil Proses Konversi Termokimia Biomassa
(Kumar et al., 2011)

No	Proses	Suhu (°C)	Waktu (s)	Hasil Biochar (%)
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

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 dan gugus fungsi

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) 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 reaktif logam berat, seperti gugus hidroksil dan karboksil (Xue et al., 2012).

HTC atau biasa disebut karbonisasi basah adalah 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 meninggalkan limbah kimia berbahaya ataupun produk sampingan (Kumar et al., 2011). Berikut tabel perbandingan persen hasil dari setiap konversi termokimia biomassa dengan berbagai metode.

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 umumnya mengacu pada bahan organik apapun yang berasal dari mikroba, tumbuhan (alga), atau hewan. Menurut UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) biomassa termasuk

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) produk sampingan, residu, dan limbah dari pertanian (jerami, padi, ampas tebu, ampas kopi, batang jagung, pemangkasan pohon buah-buahan), kehutanan (serbuk kayu, serbuk gergaji), ternak (kotoran sapi, unggas, dan babi), dan industri terkait, serta fraksi organik non fosil dan *biodegradable* dari limbah industri dan non industri seperti lumpur, sisa makanan, kertas bekas, dan sisa pengolahan makanan.

Biomassa adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menyebut semua senyawa organik yang berasal dari tanaman pertanian, alga, dan sampah organik. Pengelompokan biomassa terbagi menjadi biomassa kayu, biomassa bukan kayu, dan biomassa sekunder. Biomassa juga dapat dikategorikan menjadi limbah pertanian, limbah kehutanan, tanaman kebun energi, dan limbah organik. Sifat kimia, sifat fisik, kadar air, dan kekuatan mekanis pada berbagai biomassa sangat beragam dan berbeda-beda. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan dengan kualitas yang rendah. Teknologi transformasi energi termal yang menggunakan biomassa sangat rumit dan harus disesuaikan dengan pemanfaatannya. Beragam tergantung pemanfaatannya dan relatif rumit. Dalam proses gasifikasi, karakteristik utama biomassa berkaitan dengan analisis proksimat, analisis ultimat, temperatur abu fusi, sifat mempan gerus, dan indeks pengembangan.

Biomassa tersusun dari berbagai macam senyawa organik. Sebagian besar biomassa tersusun dari karbohidrat, lemak, dan protein. Sisanya merupakan mineral yang tersusun dari natrium, fosfor, kalsium, dan besi. Senyawa utama yang membentuk biomassa adalah selulosa, hemiselulosa,

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) dan lignin. Ketiga senyawa ini merupakan pembentuk dinding sel pada tanaman. Biomassa dapat digunakan sebagai bahan bakar secara langsung atau melalui proses pembriketan. Selain itu, biomassa juga digunakan sebagai bahan bakar penghasil energi listrik.

Sumber daya biomassa berasal dari berbagai spesies tanaman darat dan tanaman laut. Biomassa dapat diiperoleh melalui pertanian, perkebunan, limbah residu, limbah industri, dan kotoran hewan. Berdasarkan siklus karbon yang memanfaatkan fotosintesis, sumber daya biomassa bersifat tidak terbatas dan dapat digunakan berulang kali. Sumber daya biomassa yang berkelanjutan sepenuhnya dipengaruhi oleh ekosistem tanaman yang memperhatikan faktor panen, laju pertumbuhan dan perlindungan lingkungan.

Sumber energi dari biomassa domestik tidak hanya meningkatkan diversifikasi bahan bakar, tetapi juga mengurangi polusi udara karena biomassa memiliki kandungan sulfur dan logam berat yang relatif rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil seperti batubara. Sumber daya ini mengandung sangat banyak lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) atau elemen organik (karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen) sehingga dapat menghasilkan produk yang kaya akan karbon, berenergi tinggi, dan rendah abu (Tsai, 2017).

Secara umum biomassa dapat berasal dari tumbuhan secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi atau bahan dalam jumlah yang besar. Secara tidak langsung mengacu pada produk yang diperoleh melalui peternakan dan industri makanan. Biomassa memiliki sifat biodegradabel sehingga ramah lingkungan. Selama biomassa digunakan sebagai bahan mentah, kandungan karbonnya dapat dipertahankan di

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) dalam bahan dan tidak memberikan efek kepada emisi gas rumah kaca yang memberikan kontribusi terhadap pemanasan global (Tangio, 2013).

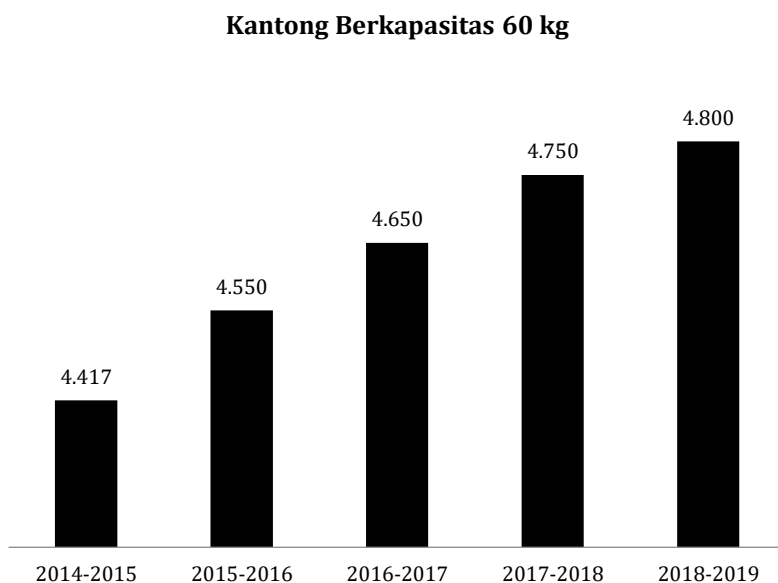
Berikut kandungan dari biomassa secara sederhana yaitu:

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, peringkat konstituen penting ketiga dari dinding sel biomassa kayu.
4. Lainnya yaitu ekstraktif dan abu. Ekstraktif yang mengacu pada protein, minyak/lemak, pati, dan gula yang dapat dipisahkan dari jaringan organisme. Sedangkan abu yang merupakan komponen anorganik dari biomassa. Bahan utama abu adalah silika, alumunium, kalsium, magnesium, natrium, kalium, 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 dimana iklim dengan curah hujan dan sinar matahari yang berlimpah (Tsai, 2017). Produksi tahunan

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) kopi, minuman yang dikonsumsi secara global terus meningkat sejak 2011 yaitu mencapai 9,54 juta ton pada tahun 2017 diseluruh dunia. Hal ini menyebabkan ampas kopi yang dihasilkan juga semakin meningkat. 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).



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

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

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, serta osasol. Sedangkan senyawa non volatil yang terdapat pada biji kopi adalah kafein, asam klorogenat dan senyawa-senyawa nutrisi. Senyawa nutrisi pada biji kopi terdiri dari karbohidrat, protein, lemak, dan mineral (Cagliani et al., 2013).



Gambar 2.2. Biji Kopi

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Ampas kopi merupakan limbah yang 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 memiliki kandungan protein yang signifikan (13,6% b/b) terutama asam glutamat (6,2-9,9 mg/g), leusin (5,6-7,8 mg/g), glisin (1,3-5,7 mg/g), valin (3,2-4,9 mg/g), fenilalanin (0,3-4,8 mg/g), dan alanin (2,6-3,9 mg/g). Ampas kopi juga mengandung abu yang dibentuk oleh beberapa mineral seperti kalium (3,5 mg/g), fosfor (1,5 mg/g), magnesium (1,3 mg/g), dan kalsium (0,8 mg/g) (Mussatto, Carneiro, et al., 2011).



Gambar 2.3. Ampas Kopi

(Sumber: majalahcsr.id)

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

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). Ampas kopi berbentuk padat dengan ukuran partikel halus yang memiliki kelembaban tinggi (berkisar 80-85%), memiliki kandungan bahan organik, dan keasamaan (Mussatto, Carneiro, et al., 2011).

Ampas kopi merupakan bahan berupa limbah yang mudah diperoleh dan dapat digunakan untuk membuat karbon aktif, sehingga dapat digunakan sebagai bahan dasar adsorben. Beberapa penelitian membuktikan bahwa ampas kopi dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan zat warna atau logam berat dari perairan yang terkontaminasi. Ampas kopi merupakan salah satu sumber potensial senyawa bioaktif. Ampas kopi mengandung sejumlah 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). Berikut dapat dilihat beberapa kandungan senyawa kimia dalam ampas kopi:

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

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

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

D. Adsorpsi

Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik. Jika adsorbat dan permukaan adsorben hanya berikatan dengan gaya Van der Waals maka dinamakan adsorpsi fisis. Adsorpsi fisis ditandai dengan menurunnya jumlah zat yang teradsorpsi disertai dengan peningkatan suhu. Jika adsorbat dan permukaan adsorben bereaksi secara kimiawi maka disebut *chemisorption*. Nilai panas adsorpsi setara dengan reaksi kimia karena adanya ikatan kimia yang terbentuk maupun terputus selama proses adsorpsi (Widayatno et al., 2017).

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang terdapat dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana 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 dari polutan (organik dan anorganik) dalam air yang tercemar dengan aplikasi

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

adsorben yang paling umum seperti silika gel, karbon aktif, dan aluminium oksida (Komkiene & Baltreinaite, 2016). Proses adsorpsi lebih banyak dipakai dalam industri karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu lebih ekonomis dan tidak menimbulkan efek samping yang beracun serta mampu menghilangkan bahan-bahan organik. Adsorpsi adalah proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Interaksi yang terjadi pada molekul adsorbat dengan permukaan adsorben kemungkinan diikuti lebih dari satu interaksi, tergantung pada struktur kimia dari masing-masing komponen (Palar, H. 2008).

Peristiwa adsorpsi suatu zat kedalam pori adsorben mengikuti 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 sebagai berikut:

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, dimana 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

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorpsi dibandingkan rantai yang lurus.

3. Struktur molekul adsorbat, hidoksil dan 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, dimana 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, dimana 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, dimana penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan. Waktu Kesetimbangan dipengaruhi oleh:
 - a. Tipe biomassa (jumlah dan jenis ruang pengikatan).
 - b. Ukuran dan fisiologi biomassa (aktif atau tidak aktif).

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

- c. Ion yang terlibat dalam sistem biosorpsi.
- d. Konsentrasi ion logam.

(Syauqiah et al., 2011).

Adsorben yang digunakan untuk proses adsorpsi memiliki harga yang relatif mahal sehingga dibutuhkan adsorben dengan harga yang terjangkau dan ramah lingkungan, misalnya berasal dari limbah biomassa. Adsorben yang diperoleh dari bahan baku limbah, selain dapat mengurangi beban limbah padat di lingkungan sekitar juga dapat menekan harga jual dari adsorben tersebut (Haura et al., 2017).

E. Logam Berat Kadmium (Cd)

Logam berat ialah unsur logam dengan berat molekul tinggi dan merupakan polutan yang memberikan dampak signifikan bagi kesehatan makhluk hidup. Dalam kadar rendah, logam berat pada umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Termasuk logam berat yang sering mencemari habitat ialah Cr, Fe, Cd, Mn, Pb, dan Ag (Syauqiah et al., 2011). 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. Sedangkan nikel, tembaga, dan mangan adalah logam esensial karena memiliki peran yang cukup penting dalam sistem biologis (Kamarudin & Yunus, 2015). Sumber pencemaran logam sebagian besar berasal dari pertambangan, peleburan logam, industri lainnya, dan juga dapat berasal dari limbah domestik yang menggunakan logam, serta lahan

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) pertanian yang menggunakan pupuk yang mengandung logam.

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. Sedangkan nikel, tembaga, dan mangan adalah logam esensial karena memiliki peran yang cukup penting dalam sistem biologis (Kamarudin & Yunus, 2015).



Gambar 2.4. Logam Kadmium

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Kadmium (Cd) adalah suatu logam putih, mudah dibentuk, lunak dengan warna kebiruan. Kadmium memiliki titik didih rendah yaitu $767^\circ C$ yang membuatnya mudah terbakar, membentuk asap kadmium oksida (Sudarwin, 2008). Cd merupakan salah satu logam berat yang tersebar secara luas di alam. Logam Cd memiliki nomor atom 48, berat atom 112,40, titik cair $321^\circ C$, dan titik didih $765^\circ C$. Cd adalah logam lunak berwarna putih keperakan dan mudah teroksidasi di udara bebas dan gas amonia (Palar, 2008).

Logam Kadmium (Cd) merupakan logam yang bernomor atom 48 dan massa atom 112,41. Logam ini termasuk dalam logam transisi pada periode V dalam tabel periodik. Logam Cd dikenal sebagai unsur chalcophile, jadi cenderung ditemukan dalam deposit sulfide (Manahan, 2001). Kemelimpahan Cd pada kerak bumi adalah $0,13 \mu g/g$. Pada lingkungan akuatik, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Cd memasuki lingkungan akuatik terutama dari deposisi atmosferik dan efluen pabrik yang menggunakan logam ini dalam proses kerjanya. Di perairan umumnya Cd hadir dalam bentuk ion-ionnya yang terhidrasi, garam-garam klorida, terkomplekskan dengan ligan anorganik atau membentuk kompleks dengan ligan organik (Weiner, 2008).

Kadmium (Cd) merupakan logam yang bersifat kronis dan pada manusia biasanya terakumulasi dalam ginjal. Keracunan Cd dalam waktu yang lama membahayakan kesehatan paru-paru, tulang, hati, kelenjar reproduksi dan ginjal. Logam ini juga bersifat neurotoksin yang menimbulkan dampak rusaknya indera penciuman (Anwar, 1996).

Cd di sedimen perairan yang tak terkontaminasi berkisar antara $0,1$ sampai $1,0 \mu g/g$ bobot kering. Pada

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) umumnya di air permukaan, baik Cd terlarut maupun partikulatnya secara rutin dapat terdeteksi. Koefisien distribusi Cd partikulat/Cd terlarut pada perairan sungai di dunia berkisar dari 104 sampai 105 . Fluks input antropogenik secara global per tahun jauh melebihi emisi Cd dari sumber alamiahnya seperti kegiatan gunung berapi, Windborne soil particles, garamgaram dari laut dan partikel biogenik sampai dengan satu tingkatan magnitude (Csuros and Csuros,2002).

Secara global sumber utama Cd adalah dari deposisi atmosferik, proses smelting dan refining dari logam non ferrous, proses industri terkait produksi bahan kimia dan metalurgi, serta air buangan limbah domestik. Hanya 15% saja dari deposisi atmosferi yang berasal dari sumber-sumber alamiah. Diperkirakan 1.000 ton Cd dilepaskan per tahun ke atmosfer dari smelters dan pabrik-pabrik yang mengolah Cd. Pelepasan Cd ke dalam perairan alamiah sebagian besar berasal dari industri galvanik, sumber lain polusi Cd adalah industri baterai, pupuk dan fungisida yang mengandung Cd dan Zn juga merupakan sumber potensial polusi kedua logam ini (Allen et al., 1998).

Kadmium (Cd) adalah logam beracun yang dapat mengakibatkan keracunan kronik pada manusia. Keberadaan logam Cd dapat berasal dari alam, pertambangan, dan industri (Ibnu Hajar et al., 2016). Sumber pencemaran lain dari logam Cd dalam tanah diantaranya berasal dari penggunaan bahan agrokimia, aplikasi pupuk organik berbahan baku sampah dan limbah industri, residu pembakaran bensin, aktivitas penambangan, serta peleburan logam. Cd berada dalam tanah disebabkan karena adanya proses pembentukan tanah dari mineral yang mengandung logam Cd.

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) Akumulasi logam Cd pada tubuh manusia dalam jangka waktu yang lama dapat beresiko tinggi terhadap pembuluh darah, hati, dan ginjal (Syachroni, 2017).

Cd bersifat beracun bagi tubuh manusia meskipun dalam kadar yang sangat rendah. Efek racun ini dapat disebabkan karena lama kontaminasi dan kadar selama kontaminasi yang lama-kelamaan akan meningkatkan efek racun yang lebih besar. Paparan logam Cd dalam kadar rendah dapat menyebabkan gangguan pada saluran pencernaan dan menurunkan fungsi ginjal. Selain itu, penumpukan logam Cd dalam tubuh dapat mengakibatkan keracunan khususnya pada organ tubuh seperti ginjal dan hati yang dapat berujung pada kematian. Keracunan logam Cd dalam tubuh dapat menyebabkan penyakit lain seperti lumbago yaitu rusaknya tulang karena retak dan lunaknya tulang. Selain itu, logam Cd juga merupakan agen karsinogenik (Pulungan & Wahyuni, 2021).

Kadmium dalam tubuh terakumulasi dalam organ hati dan ginjal. Keracunan akut kadmium disebabkan dari mengisap debu dan asap kadmium yang berlebihan, terutama kadmium oksida (CdO). Keracunan logam kadmium dapat menyebabkan gangguan kardiovaskular dan hipertensi. (Sudarwin, 2008).

Di Indonesia, kadmium masih banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai bahan utama atau tambahan materi dalam industri, yakni baterai nikelkadmium, bahan coating, bahan stabilizers dalam industri plastik, industri elektroplating, dan bahan sintetis lain. Selain itu, kadmium juga digunakan dalam industri baterai pesawat terbang. Penggunaan kadmium dimulai semenjak tahun 1950 dengan total produksi dunia sekitar 15.000 – 18.000 per tahun. Pencemaran oleh kadmium

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) dan kesenyawaannya ditemukan dalam industri pencelupan, fotografi dan lain-lain.

F. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

FTIR merupakan salah satu instrumen yang banyak digunakan untuk mengetahui spektrum vibrasi molekul yang dapat digunakan untuk memprediksi gugus fungsi senyawa kimia. Terdapat tiga teknik pengukuran sampel yang umum digunakan dalam pengukuran sampel menggunakan FTIR yaitu *Photo Acoustic Spectroscopy (PAS)*, *Attenuated Total Reflectance (ATR)*, dan *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform (DRIFT)*. Setiap teknik memiliki karakteristik spektrum vibrasi molekul tertentu (Beasley et al., 2014).

Spektrofotometer FTIR adalah suatu alat yang berguna untuk mengidentifikasi suatu senyawa tertentu dengan menentukan komposisi campuran serta dapat memperkirakan suatu struktur molekul. Sampel yang biasanya digunakan yaitu material dalam keadaan padat, cair, maupun gas. Bentuk spektrum yang dihasilkan merupakan analisis secara kualitatif yaitu berupa suatu puncak spesifik dari gugus fungsi yang dipunyai oleh senyawa tersebut (Ilmi, 2019).

Uji FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi komposisi ikatan kimia pada sampel. Setiap molekul dengan struktur kimia yang berbeda menghasilkan jejak atau spektrum serapan inframerah yang berbeda satu sama lain. Ikatan kimia mempunyai frekuensi getaran alami yang unik dan khas. Bahkan jika dua jenis ikatan yang sama dilarutkan dalam larutan atau campuran yang berbeda, maka tetap akan memiliki

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) lingkungan yang berbeda juga (Rahmat & Suwarno, 2020).

FTIR adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi spektrum getaran suatu molekul sehingga dapat memprediksi gugus fungsi suatu senyawa. 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).

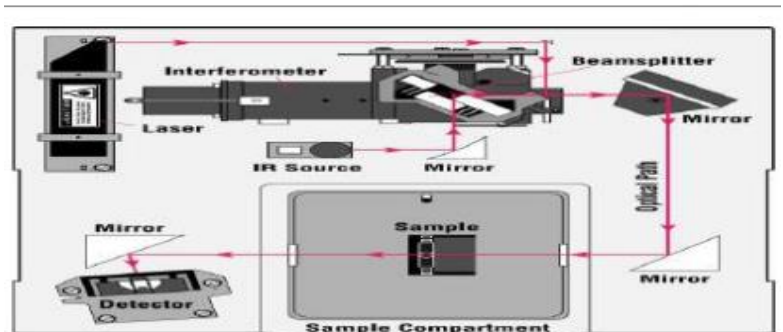
Prinsip kerja dari FTIR adalah pengukuran jumlah radiasi inframerah yang diserap atau dipancarkan oleh sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Setiap molekul poliatomik memiliki spektrum inframerah yang didasarkan pada getaran masing-masing molekul tergantung pada massa atom, kekuatan ikatan, dan interaksi intra atau antarmolekul. Hal ini mengakibatkan seluruh spektrum inframerah senyawa organik memiliki getaran yang unik. FTIR mempunyai banyak informasi struktural. Sebagian besar molekul menunjukkan pita inframerah di daerah serapan $4000-400\text{ cm}^{-1}$. (Bunaciu et al., 2011). Gambar instrumen FTIR dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 2.5. Instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

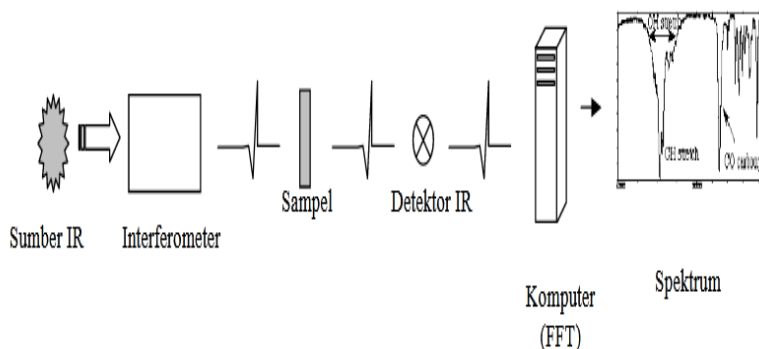
(Sumber: perkinElmer.com)



Gambar 2.6. Skema alat FTIR

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Prinsip kerja spektrofotometer FTIR yaitu cahaya masuk dari sumber cahaya lalu dilanjutkan dan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian yang vertikal kemudian terjadinya pemantulan cahaya oleh dua cermin (cermin diam dan cermin bergerak). Setelah cahaya dipantulkan, cahaya hasil pantulan dipantulkan kembali ke pemecah sinar supaya dapat berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian cahaya masuk ke sumber dan sepeggal cahaya masuk ke sampel. Fluktuasi terjadi pada cahaya yang mencapai detektor akan menciptakan sinyal, sinyal pada detektor disebut dengan interferogram. Interferogram ini akan diubah menjadi spektra IR (Tahid, 1994).



Gambar 2.7. Proses Pergantian Sinyal Di Sistem Peralatan Spektroskopi FTIR

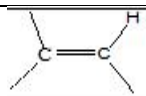
Sumber: (Suseno dan Firdausi, 2008)

Frekuensi inframerah dapat dijelaskan dalam satuan bilangan gelombang (*wavenumber*), yaitu diartikan sebagai jumlah gelombang per sentimeter. Hanya perlu waktu beberapa menit saja untuk mendapatkan hasil spektrum

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) inframerah suatu senyawa. Diperlukan secuil sampel yang ditempatkan dalam instrumen dengan sumber radiasi inframerah. Otomatis spektroskopi akan membaca banyaknya radiasi yang menembus sampel dalam rentang frekuensi tertentu dan merekam berapa persentase radiasi yang ditransmisikan pada kertas. Muncul pita pada spektrum dihasilkan dari radiasi yang diserap oleh molekul (Fannyda, 2014). Setiap sampel yang diuji memiliki senyawa yang menyerap energi dari cahaya inframerah sehingga molekul tersebut akan tereksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi. Penyerapan energi tersebut yang mengakibatkan perubahan energi vibrasi yang terjadi pada molekul tersebut. Vibrasi molekul dapat digolongkan menjadi vibrasi regangan (*stretching*) dan vibrasi bengkokan (*bending*) (Noor, 2010).

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Tabel 2.3. Frekuensi Regangan Inframerah untuk Beberapa
Jenis Ikatan

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah Frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas
C-H	Alkana	2850-2970 1340-1470	Kuat Kuat
C-H	 Alkena	3010-3095 675-995	Sedang Kuat
C-H	Alkana -C ≡ C-	3300	Kuat
C-H	Cincin Aromatik	3010-3100 690-900	Sedang Kuat
O-H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol Monomerasam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3590-3650 3200-3600 3500-3650 2500-2700	Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar Sedang Melebar
C = C	Alkena	1610-1680	Berubah-ubah
C = C	Cincin Aromatik	1500-1600	Berubah-ubah
C ≡ C	Alkana	2100-2260	Berubah-ubah
C-N	Amina, Amida	1180-1360	Kuat
C ≡ N	Nitril	2210-2280	Kuat
C-O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1050-1300	Kuat
C = O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690-1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500-1570 1300-1370	Kuat Kuat

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

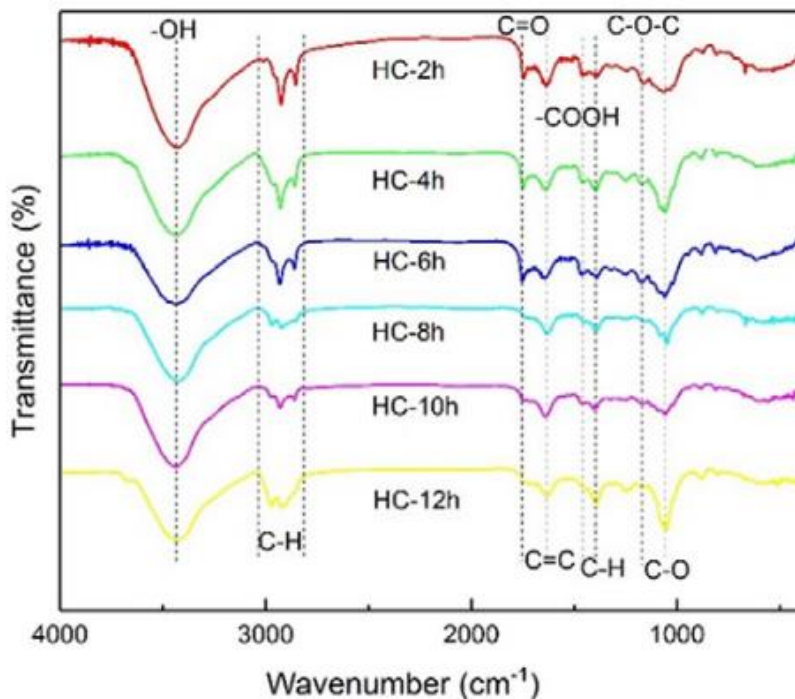
FTIR dapat membedakan spektrum dari berbagai macam larutan atau campuran dengan bilangan gelombang berkisar antara 500 hingga 6000 cm⁻¹. Hasil dari uji FTIR adalah grafik yang menunjukkan persentase transmitansi inframerah pada panjang gelombang tertentu. Pada grafik FTIR sumbu vertikal menunjukkan persentase transmitansi (%T) yaitu perbandingan sinar inframerah yang tidak diserap sampel yang diuji terhadap sinar inframerah yang diberikan pada sampel. Pada sumbu horizontal menunjukkan bilangan gelombang dalam satuan cm⁻¹. Jangkauan inframerah yang digunakan berada dalam kisaran 4000 – 500 cm⁻¹. Senyawa H₂ tidak dapat dideteksi daerah transmitansinya karena sifatnya yang tidak menyerap sinar inframerah (Rahmat & Suwarno, 2020). Interpretasi data spektrum FTIR dari hidrochar ampas kopi dan spektrum hasil analisis dapat dilihat pada tabel 2.4 dan gambar 2.8.

Tabel 2. 4. 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

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 2.8. Hasil Spektrum FTIR Pada Hydrochar Ampas Kopi

(Zhang et al., 2020)

Kelebihan FTIR adalah interferogram dapat ditampilkan dalam waktu kurang dari satu 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) Kelebihan lainnya adalah berpotensi sebagai

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) metode analisis yang cepat karena dapat dilakukan secara langsung pada sampel tanpa perlu dilakukan pemisahan terlebih dahulu (Bunaciu et al., 2011). 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).

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 panjang gelombang tertentu. Persentase transmitansi (%T) ditunjukkan pada grafik FTIR sumbu vertikal, sedangkan bilangan gelombang (cm^{-1}) ditunjukkan pada sumbu horizontal. (Rahmat & Suwarno, 2020).

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

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop elektron yang digunakan untuk menganalisis permukaan suatu sampel dengan menembakkan elektron berenergi tinggi pada sampel. Elektron kemudian

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) berinteraksi dengan atom-atom pada sampel sehingga dihasilkan sinyal-sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan, komposisi, dan beberapa karakteristik lainnya pada sampel seperti konduktivitas listrik. 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).

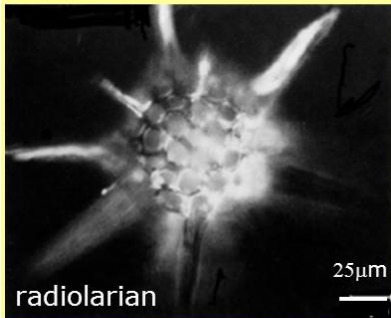


Gambar 2.9. *Alat Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

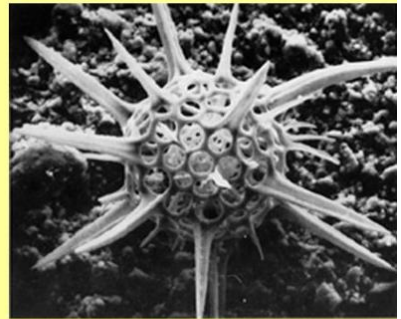
Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1–0,2 nm. Perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron ditunjukkan pada gambar berikut.

Optical Microscopy vs Scanning Electron Microscopy



OM

**Small depth of field
Low resolution**



SEM

**Large depth of field
High resolution**

Gambar 2.10. Hasil Mikroskop Cahaya dan Elektron

Fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

1. Topografi yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

2. Morfologi yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit* (IC) dan chip, dan sebagainya).
3. Komposisi yaitu data semi kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
4. Informasi kristalografi yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

(Walewangko et al., 2021)

Komponen-komponen utama dari SEM diantaranya adalah *electron gun* yang berfungsi untuk menghasilkan berkas elektron, beberapa lensa elektromagnetik untuk mengkondisikan berkas elektron, dan detektor untuk beberapa jenis berkas yang berbeda. Prinsip kerja SEM adalah *scanning* artinya bahwa berkas elektron menyapu permukaan sampel titik demi titik dengan membentuk garis demi garis mirip dengan gerakan mata yang membaca. Sinyal elektron sekunder yang dihasilkan berasal dari suatu titik di permukaan yang kemudian ditangkap oleh SE detektor yang selanjutnya diproses dan ditampilkan pada layar CRT (TV) (Juwita, 2003).

Instrumen SEM-EDX bekerja dengan menggunakan sistem vakum. Sebelum dilakukan proses analisis, molekul udara yang berada di dalam instrumen dihilangkan dengan menutup gas. Apabila terdapat molekul udara, hal ini dapat membuat elektron yang berjalan menuju target akan terpengaruh oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga penghilangan molekul udara sangat penting untuk dilakukan (Julinawati et al., 2015).

Prinsip kerja SEM adalah sebagai berikut:

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

1. Pistol elektron menghasilkan sinar elektron yang dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel akan memancarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

(Wijayanto & Bayuseno, 2014).

SEM-EDX memiliki sebuah pistol elektron yang menghasilkan sinar elektron. Sinar elektron akan dipercepat dengan anoda, kemudian elektron akan difokuskan oleh lensa magnetik untuk menuju sampel dan sinar elektron yang terfokus akan memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Kamera, kecerahan, perbesaran, serta fokus diatur sehingga memperlihatkan permukaan pada sampel. Pada monitor SEM, diatur *spot size* dan di *Collect* pada monitor EDX. Pada saat sinar elektron mengenai sampel, maka akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima detektor dan terbaca pada monitor. Hasil analisis akan didapatkan dalam bentuk gambar permukaan sampel pada SEM dan bentuk grafik atau diagram pada EDX yang menyatakan persentase unsur-unsur dari sampel (Julinawati et al., 2015).

H. *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) adalah alat yang berfungsi untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. AAS digunakan untuk menganalisis senyawa organik atau logam (golongan alkali tanah unsur transisi) (Hidayati,

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) 2013). AAS berprinsip pada penyerapan absorpsi 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).

AAS merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur konsentrasi suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atom. AAS dapat digunakan pada senyawa organik atau logam (Hidayati, 2013). AAS didasarkan pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom pada sampel akan menyerap sebagian cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Penyerapan energi oleh atom terjadi pada panjang gelombang tertentu tergantung pada energi yang dibutuhkan oleh atom. AAS banyak digunakan karena sensitivitasnya yang tinggi dan aplikasinya yang sederhana (Asra et al., 2019). Gambar instrumen AAS dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 2.11. 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)

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

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, dimana 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

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) 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 et al (2020) menyatakan bahwa ampas kopi dapat digunakan sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan hidrochar. Hidrochar ampas kopi disintesis menggunakan metode karbonisasi hidrotermal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh karakteristik hidrochar ampas memiliki kadar abu yang sangat rendah yaitu <2% dan nilai kalor tertinggi sebesar $33,5 \text{ MJkg}^{-1}$. Kandungan karbon dan nilai kalornya meningkat secara signifikan masing-masing sebesar 11,2-30,7% dan 15,8-44,7%.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Penelitian tentang penggunaan biochar ampas kopi telah dilakukan untuk menyerap limbah cair antibiotik sulfonamida. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al (2020) yaitu adsorpsi menggunakan biochar 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 et al (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 et al (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 et al

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) (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.

Penelitian yang dilakukan oleh Artika et al (2019) yang berjudul *Adsorpsi Ion Logam Berat Pb(II) dengan Biochar Residu Pirolisis Kayu Macaranga gigantea*, penelitian menyatakan bahwa biochar dapat digunakan sebagai adsorben ion logam Pb karena secara signifikan mampu mengikat kadar ion logam Pb dalam air. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan kapasitas adsorpsi ion logam Pb untuk variasi pH sebesar 8,65 mg/g dengan pH optimum yaitu 5. Kapasitas adsorpsi ion logam Pb untuk variasi waktu sebesar 6,58 mg/g dengan waktu optimum yaitu 60 menit. Kapasitas adsorpsi ion logam Pb untuk variasi konsentrasi sebesar 78,21 mg/g dengan konsentrasi maksimum 200 ppm.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

BAB III

METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian
Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli sampai Agustus 2022.
2. Tempat Penelitian
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang. Karakterisasi pada sampel dilakukan pada beberapa Laboratorium di Indonesia.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Penelitian ini menggunakan alat-alat diantaranya yaitu loyang, cawan kaca, spatula besi, neraca analitik, oven, wadah sampel plastik, gelas ukur, autoklaf, batang pengaduk, furnace, corong, labu erlenmeyer, *plastic wrap*, gelas beker, pipet volume, ayakan 100 mesh, aluminium foil, labu ukur, *magnetic stirrer*, *hotplate*, pipet, FTIR, SEM-EDX, dan AAS.

2. Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan diantaranya yaitu ampas kopi yang diperoleh dari hasil proses penyeduhan biji kopi bubuk kedai kopi “Sarang Kopi” di wilayah Karanggede, Boyolali, Jawa Tengah, aquades, air deionisasi, kertas saring, indikator pH universal, larutan H_2O_2 , larutan NaOH 0,1 M, larutan HNO_3 0,1 M, dan larutan $Cd(CH_3COO)_2$ berbagai konsentrasi.

C. Cara Kerja

1. Preparasi Bahan Baku Limbah Ampas Kopi

Bahan baku limbah ampas kopi yang diperoleh dijemur di bawah sinar matahari dan setelah kering ditempatkan dalam wadah tertutup pada suhu kamar selama penyimpanan.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

2. Sintesis Hydrochar Ampas Kopi

Limbah ampas kopi diambil sebanyak 150 gram, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Ampas kopi yang telah kering diambil sebanyak 15 gram, lalu dicampurkan dengan 150 mL air dan dimasukkan dalam reaktor autoklaf. Autoklaf kemudian dipanaskan dalam furnace pada suhu 160°C selama 2 jam. Campuran disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan air deionisasi sampai pH air cucuannya stabil. Hydrochar ampas kopi yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam dan disaring dengan ayakan 100 mesh (Zhang et al., 2020).

3. Modifikasi Hydrochar Ampas Kopi

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

4. Karakterisasi Hydrochar Ampas Kopi

Hydrochar ampas kopi sebelum dan setelah modifikasi dikarakterisasi dengan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X Ray* (SEM-EDX). Karakterisasi FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang ada pada hydrochar. FTIR yang digunakan merk *PerkinElmer Frontier FT-IR 96681*. Karakterisasi SEM-EDX

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan sampel dan mengetahui persentase komposisi komponen-komponen kimia penyusun hidrochar. SEM-EDX yang digunakan merk *Jeol JED-2300 Series*.

Filtrat yang dihasilkan dari proses adsorpsi dengan variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi larutan Cd(CH₃COO)₂ dianalisis dengan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) untuk mengetahui konsentrasi akhir dari filtrat sehingga dapat diketahui nilai kapasitas adsorpsinya. AAS yang digunakan merk *Spectrometer: iCE 3000 AA05194702*.

5. Pembuatan Larutan Induk Cd(CH₃COO)₂ 1000 ppm
Serbuk Cd(CH₃COO)₂ ditimbang sebanyak 2,379 gram dan dilarutkan dalam 1000 mL aquades sambil dikocok sampai homogen. Massa serbuk Cd(CH₃COO)₂ dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Massa} = \frac{\text{ppm} \times V \times \text{Mr Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2}{\text{Ar Cd}^{2+}} \quad (3. 1)$$

Ppm adalah konsentrasi yang akan dibuat (mg/L), V adalah volume larutan (L), Mr adalah massa molekul relatif, dan Ar adalah massa atom relatif.

6. Pembuatan Larutan Standar Cd²⁺ 25 ppm
Larutan Cd²⁺ 25 ppm dibuat dengan mengambil sebanyak 12,5 mL larutan induk Cd²⁺ 1000 ppm. Larutan diencerkan dalam labu ukur 500 mL. Aquades ditambahkan hingga tanda batas dan dikocok sampai homogen.

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

7. Variasi Adsorpsi Cd (II) Menggunakan Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi

a. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 50 mL Larutan $Cd(CH_3COO)_2$ dengan konsentrasi 25 mg/L dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 dimasukkan dalam gelas beker. Adsorben hidrochar yang digunakan sebanyak 0,1 gram. Campuran diaduk dengan *stirrer* selama 1 jam pada suhu ruang. Campuran setelah proses adsorpsi disaring menggunakan kertas saring dan diambil filtratnya. Filtrat dilakukan analisis konsentrasi logam menggunakan AAS (Artika et al., 2019).

b. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 50 mL Larutan $Cd(CH_3COO)_2$ dengan konsentrasi 25 mg/L dengan pH optimum dimasukkan dalam gelas beker. Adsorben hidrochar yang digunakan sebanyak 0,1 gram. Campuran diaduk dengan variasi waktu kontak 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit pada suhu ruang menggunakan *stirrer*. Campuran setelah proses adsorpsi disaring menggunakan kertas saring dan diambil filtratnya. Filtrat dilakukan analisis konsentrasi logam menggunakan AAS (Artika et al., 2019).

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

D. Analisis Data

1. Hasil Hydrochar Ampas Kopi

Hydrochar ampas kopi dihitung menggunakan rumus berikut.

Hasil Hydrochar

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

(Afolabi et al., 2020)

2. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Ion Cd (II)

Data yang diperoleh dari hasil AAS yaitu konsentrasi akhir dari larutan Cd(CH₃COO)₂. Kapasitas adsorpsi hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap ion Cd (II) dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{W} \times V \quad (3.3)$$

Dimana q_e adalah kapasitas adsorpsi dari ion logam Cd (II) (mg/g), C_0 merupakan konsentrasi awal larutan Cd(CH₃COO)₂ (mg/L), C_e merupakan konsentrasi akhir larutan Cd(CH₃COO)₂ (mg/L), W merupakan massa dari adsorben hidrochar ampas kopi termodifikasi (g), dan V adalah volume larutan Cd(CH₃COO)₂ yang digunakan (L).

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

3. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

a. *Pseudo* Orde Satu

Persamaan model kinetika *psuedo* orde satu dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Dimana q_t adalah jumlah ion Cd (II) yang teradsorpsi oleh hidrochar termodifikasi pada waktu t (mg/g), q_e adalah jumlah ion Cd (II) yang teradsorpsi oleh hidrochar termodifikasi pada saat kesetimbangan (mg/g), dan k_1 adalah konstanta laju *pseudo* orde satu (menit⁻¹).

Setelah dilakukan integrasi dengan kondisi batas ($t = 0$, $q_t = 0$, dan $t = t$, $q_t = q_t$), maka persamaan 3.4 menjadi,

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

Jika dilakukan plot $\ln (q_e - q_t)$ vs t , maka akan diperoleh nilai k_1 dan q_e . Persamaan 3.4 juga dapat diturunkan menjadi persamaan berikut.

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

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

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

b. *Pseudo* Orde Dua

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

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

Setelah dilakukan integrasi dengan kondisi batas ($t = 0, q_t = 0$, dan $t = t, q_t = q_t$), maka persamaan 3.7 menjadi,

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_0 - q_t)^2$$
$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2q_e^2} + \frac{1}{q_e}t \quad (3.8)$$

Dimana k_2 merupakan konstanta laju *pseudo* orde dua ($\text{g} \cdot \text{menit}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$). Nilai k_2 dan q_e dapat dihitung dari *intercept* dan *slope* dari garis linear pada garfik jika dilakukan plot (t/q_t) vs t (Ho, 2004).

BAB IV

HASIL

PENELITIAN DAN

PEMBAHASAN

Pada penelitian yang dilakukan, hidrochar sebagai alternatif adsorben dibuat dengan menggunakan bahan baku dari limbah ampas kopi. Proses sintesis hidrochar ampas kopi dilakukan menggunakan metode *Hydrothermal Carbonization*

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

(HTC). Hydrochar ampas kopi yang digunakan dalam proses adsorpsi dilakukan modifikasi dengan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari hydrochar ampas kopi dan kapasitas adsorpsi dari hydrochar ampas kopi termodifikasi larutan H_2O_2 dalam mengadsorpsi ion Cd (II) pada beberapa variasi pH larutan $Cd(CH_3COO)_2$ dan waktu kontak sehingga diperoleh pH dan waktu kontak optimum dalam mengadsorpsi ion Cd (II) secara maksimal.

Pada penelitian ini dilakukan proses sintesis hydrochar ampas kopi menggunakan metode *Hydrothermal Carbonization* (HTC) dan dimodifikasi dengan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2). Hydrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR merk *PerkinElmer Frontier FT-IR 96681* dan SEM-EDX merk *Jeol JED-2300 Series*. Hydrochar ampas kopi termodifikasi diaplikasikan untuk mengadsorpsi ion logam Cd (II) dengan beberapa variasi yaitu pH, dan waktu kontak larutan $Cd(CH_3COO)_2$. Pengaplikasian tersebut kemudian dianalisis menggunakan instrumen AAS untuk dapat dihitung kapasitas adsorpsinya. Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan uji adsorpsi antara hydrochar ampas kopi sebelum modifikasi dengan hydrochar ampas kopi termodifikasi pada ion Cd (II) dalam kondisi pH, dan waktu kontak yang optimum. Hydrochar ampas kopi termodifikasi yang telah digunakan untuk mengadsorpsi ion Cd (II) pada kondisi optimum juga dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX.

Penelitian ini menggunakan hydrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi untuk dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen *PerkinElmer Frontier FT-IR 96681* dan SEM-EDX *Jeol JED-2300 Series*. Aplikasi hydrochar

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) ampas kopi termodifikasi untuk mengadsorpsi ion Cd (II) dianalisis menggunakan instrumen AAS merk *Spectrometer: iCE 3000 AA05194702* untuk mengetahui konsentrasi akhir larutan $Cd(CH_3COO)_2$ sehingga dapat dihitung nilai kapasitas adsorpsinya.

A. Sintesis Hidrochar Ampas Kopi

Ampas kopi adalah sisa-sisa organik dari bubuk kopi setelah biji kopi diekstraksi yang memiliki bentuk partikel kecil dengan ukuran $\approx 20 \mu m$ yang tersusun dari serat (>50%) dan struktur lignin kompleks dengan luas permukaan yang besar ($7,5 m^2 g^{-1}$). Ampas kopi mengandung sebagian besar struktur lignin yang efektif untuk aplikasi adsorpsi (Kim et al., 2014). Ampas kopi juga mengandung karbon sebesar 47,8 – 58,9% yang dapat berperan sebagai komponen utama dalam mengikat ion logam pada proses adsorpsi (Caetano et al., 2012). Adsorpsi menggunakan hidrochar yang dibuat dari biomassa pertanian memiliki harga yang relatif murah, proses yang sederhana, serta ramah lingkungan (Nguyen et al., 2021).

Ampas kopi merupakan salah satu limbah pertanian yang sangat melimpah. Limbah ampas kopi sangat mudah diperoleh dan memiliki harga yang relatif murah. Ampas kopi juga dapat digunakan sebagai adsorben atau bahan penyerap (Irmanto & Suyata, 2009). Ampas kopi mempunyai kandungan karbon sekitar 47,8–58,9% yang berperan sebagai komponen utama untuk mengikat ion logam pada proses adsorpsi (Caetano et al., 2012). Ampas kopi yang digunakan pada penelitian ini berjenis arabika dan diperoleh dari kedai kopi “Sarang Kopi” yang berada

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) di daerah Karanggede Boyolali sebagai bahan baku untuk pembuatan hidrochar.

Preparasi sintesis hidrochar ampas kopi dilakukan dengan mengeringkan ampas kopi di bawah sinar matahari. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang terdapat dalam ampas kopi dan untuk mendapatkan sampel ampas kopi yang tahan lama dan tidak mudah rusak akibat terkontaminasi oleh jamur atau bakteri pada saat disimpan (Nisah et al., 2021). Ampas kopi yang sudah kering kemudian ditempatkan dalam wadah yang tertutup rapat untuk menghindari kontak dengan udara luar.

Limbah ampas kopi yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan hidrochar pada penelitian ini berasal dari kedai kopi “Sarang Kopi” yang berada di daerah Karanggede, Boyolali, Jawa Tengah. Ampas kopi yang telah dikumpulkan dijemur di bawah sinar matahari sampai kering. Penjemuran bertujuan untuk mengurangi kadar air yang masih terdapat dalam ampas kopi dan mencegah tumbuhnya jamur atau bakteri ketika disimpan untuk keperluan penelitian (Setyowati, 2018). Ampas kopi yang sudah kering disimpan dalam wadah tertutup untuk mengurangi kontak dengan udara luar.

Tahap awal yang dilakukan dalam proses sintesis hidrochar ampas kopi yaitu dengan mengeringkan 150 gram ampas kopi dalam oven pada suhu $105^{\circ}C$ selama 24 jam. Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang masih terdapat dalam ampas kopi sehingga dapat memaksimalkan proses ketika proses *furnace* karena sampel tidak dipengaruhi oleh kadar air (Tirono & Sabit, 2011). Ampas kopi yang masih memiliki kandungan air yang tinggi dapat menurunkan kualitas adsorben yang dihasilkan sehingga daya serapnya terhadap gas atau cairan berkurang (Irmanto & Suyata, 2009). Ampas kopi

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) disintesis menjadi hidrochar dengan metode HTC. HTC adalah proses yang dilakukan untuk meningkatkan kandungan karbon dari ampas kopi (Román et al., 2012). Proses HTC juga dilakukan untuk mengubah ampas kopi menjadi hidrochar yang merupakan padatan berkarbon (Afolabi et al., 2020).

Proses HTC diawali dengan mencampurkan 15 gram ampas kopi dengan 150 mL air dalam reaktor autoklaf. Reaktor autoklaf kemudian ditutup rapat. Hal ini bertujuan agar campuran tidak mengalami kebocoran selama dipanaskan. Reaktor autoklaf kemudian dipanaskan menggunakan *furnace* pada suhu 160°C selama 2 jam. Suhu 160°C dipilih sebab proses HTC yang dilakukan untuk mengubah biomassa menjadi hidrochar menggunakan suhu yang relatif rendah yaitu $150\text{-}350^\circ\text{C}$ (Xue et al., 2012). Suhu merupakan elemen penting yang mempengaruhi karakteristik produk yang dihasilkan setelah HTC. Suhu juga berpengaruh terhadap peningkatan jumlah karbon dalam hidrochar, tetapi menurunkan jumlah hidrochar yang dihasilkan (Lokahita et al., 2020).

Reaktor autoklaf didinginkan pada suhu kamar dan produk padat (hidrochar) yang dihasilkan disaring menggunakan kertas saring, lalu dicuci dengan air deionisasi sampai pH air cuciannya stabil. Proses pencucian dilakukan berulang kali sampai pH air setelah pencucian konstan. Dari proses pencucian didapatkan pH konstan yaitu pH 5. Pencucian bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang masih melekat seperti debu, zat-zat organik maupun anorganik lainnya pada ampas kopi serta menstabilkan pH air cuciannya (Haryanto et al., 2019).

Hidrochar ampas kopi dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam. Pengeringan bertujuan untuk

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) mengurangi kadar air serta mengurangi tumbuhnya jamur sehingga hidrochar dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama untuk keperluan penelitian (Alfajriandi et al., 2017). Hidrochar kemudian diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Ukuran 100 mesh dipilih karena semakin kecil ukuran mesh, maka permukaannya semakin luas sehingga meningkatkan daya adsorpsinya (Sembiring & Sinaga, 2009). Hal ini juga bertujuan untuk mendapatkan ukuran hidrochar yang seragam (homogen). Hasil hidrochar ampas kopi yang diperoleh dalam penelitian ini adalah serbuk berwarna hitam kecoklatan. Dari sintesis yang dilakukan, dihasilkan hidrochar ampas kopi sebesar 9,56 gram. Hidrochar ampas kopi dapat dilihat pada gambar 4.1.

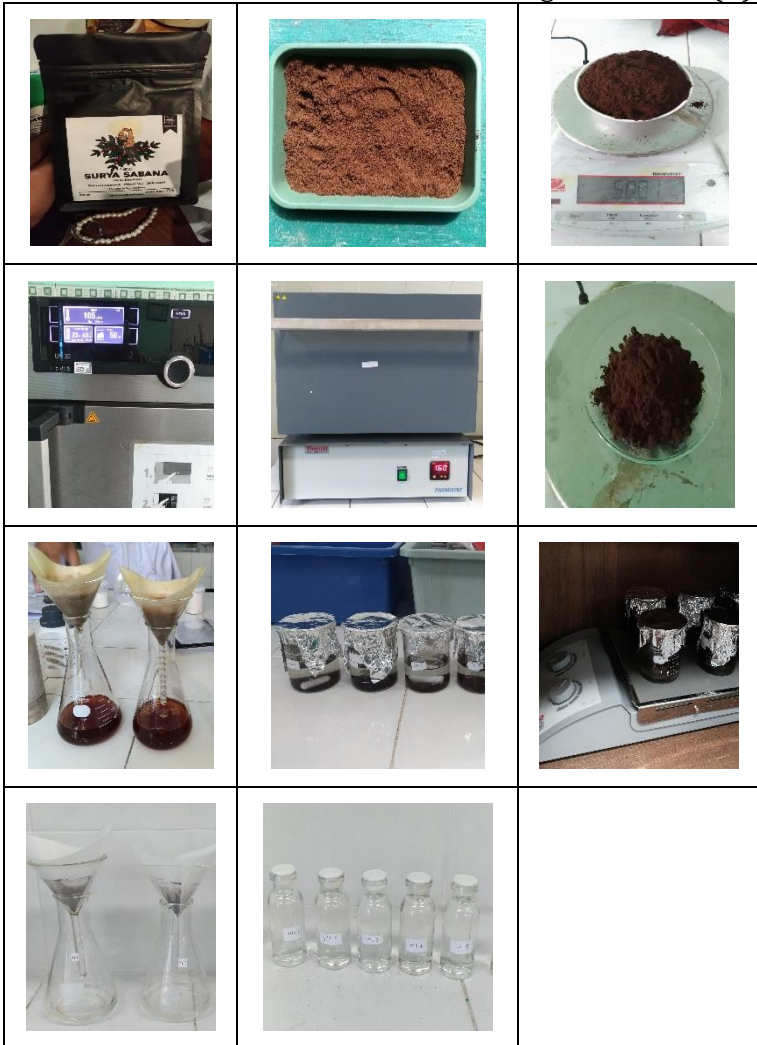


Gambar 4.1. Hidrochar Ampas Kopi

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Hidrochar ampas kopi sudah berhasil disintesis dengan baik. Gambar rangkaian pembuatan hidrochar ampas kopi dapat dilihat pada gambar 4.2.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 4.2. rangkaian pembuatan hidrochar ampas kopi

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

B. Modifikasi Hydrochar Ampas Kopi

Hydrochar ampas kopi yang digunakan sebagai adsorben alternatif untuk menghilangkan kontaminan logam berat dalam air dimodifikasi untuk mengaktifkan permukaan hydrochar dan meningkatkan kemampuannya untuk menyerap limbah logam berat (Xue et al., 2012). Pada penelitian ini hydrochar ampas kopi dimodifikasi menggunakan larutan H_2O_2 . Larutan H_2O_2 merupakan oksidator kuat yang akan terdekomposisi menjadi oksigen dan air sehingga ramah lingkungan (Kholifah et al., 2018). Tujuan modifikasi adalah untuk memperoleh hydrochar dengan daya serap yang lebih baik dan untuk meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen, terutama gugus karboksil pada permukaan hydrochar (Xue et al., 2012).

Adsorben alternatif hydrochar ampas kopi yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan logam berat dalam air perlu dilakukan modifikasi untuk mengaktifkan permukaan hydrochar dan untuk meningkatkan kemampuannya dalam mengadsorpsi limbah logam berat (Xue et al., 2012). Pada penelitian ini hydrochar 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 hydrochar dengan daya adsorpsi yang lebih baik dan untuk meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen, khususnya gugus karboksil pada permukaan hydrochar (Xue et al., 2012).

Ukuran partikel adsorben merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi (Ningsih et al., 2016). Oleh karena itu, ampas kopi disaring terlebih

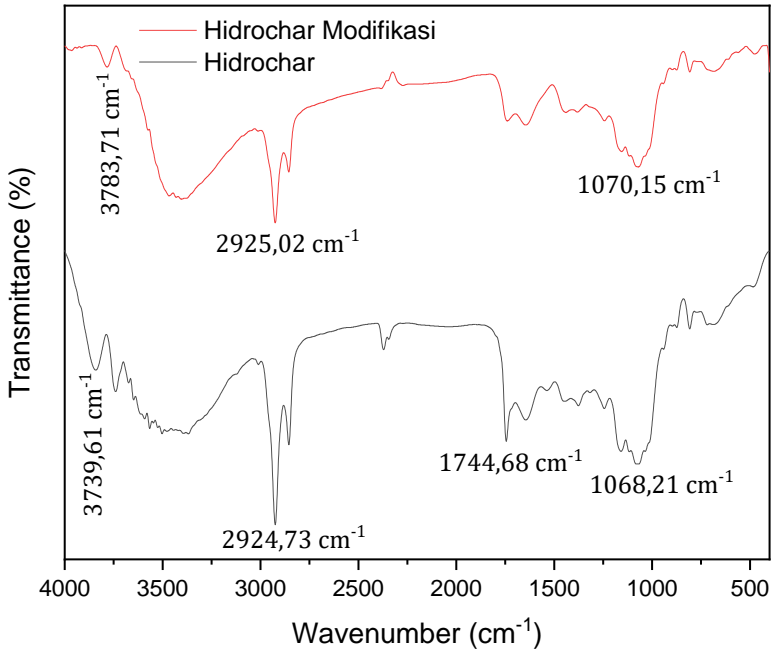
Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) dahulu menggunakan ayakan 100 *mesh* agar proses modifikasi yang dilakukan dapat lebih merata ke seluruh permukaan adsorben (Suprabawati et al., 2018). Modifikasi hidrochar ampas kopi dilakukan dengan merendam 3 gram hidrochar dalam 20 mL larutan H_2O_2 selama 2 jam pada suhu kamar. Setelah perendaman, hidrochar disaring dan dibilas dengan air deionisasi. Perendaman dalam larutan H_2O_2 bertujuan untuk meningkatkan gugus fungsi pada permukaan hidrochar khususnya gugus fungsi yang mengandung oksigen (Xue et al., 2012). Pencucian bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang masih tertinggal saat hidrochar direndam. Hidrochar yang 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) (Suprabawati et al., 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan dihasilkan hidrochar ampas kopi termodifikasi sebanyak 2,78 gram.

C. Karakterisasi Hidrochar Ampas Kopi menggunakan FTIR

Analisis hidrochar ampas kopi menggunakan instrumen FTIR berguna untuk mengetahui keberadaan gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam hidrochar yang ditunjukkan dengan adanya puncak transmitansi (%) pada bilangan gelombang tertentu. Analisis gugus fungsi pada hidrochar dilakukan dengan FTIR pada interval bilangan gelombang $400-4000\text{ cm}^{-1}$ menggunakan FTIR merk *PerkinElmer Frontier FT-IR 96681*.

Untuk mengetahui perubahan gugus fungsi akibat reaksi oksidasi dari larutan H_2O_2 , hidrochar ampas kopi

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) sebelum dan sesudah dimodifikasi dengan larutan H_2O_2 dikarakterisasi dengan FTIR. Perbandingan hasil spektrum FTIR untuk hidrochar sebelum dan sesudah modifikasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.3. Perbandingan Spektrum FTIR dari Hidrochar Ampas Kopi Sebelum dan Sesudah Modifikasi

Berdasarkan hasil spektrum FTIR hidrochar ampas kopi (seperti Gambar 4.1), hidrochar sebelum dimodifikasi menunjukkan adanya vibrasi regangan OH dari gugus hidroksil pada bilangan gelombang 3739,61 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 2924,73 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi regangan C-H dari alkana. Gugus C=O dari karbonil muncul pada bilangan

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) gelombang $1744,68 \text{ cm}^{-1}$. Pada bilangan gelombang $1068,21 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi regangan C-O dari gugus karboksil.

Berdasarkan hasil spektrum FTIR hidrochar ampas kopi termodifikasi pada bilangan gelombang $3783,71 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi regangan OH dari gugus hidroksil. Pada bilangan gelombang $2925,02 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi regangan C-H dari alkana. Pada bilangan gelombang $1070,15 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi regangan C-O dari gugus karboksil. Perbandingan serapan gugus fungsi antara hidrochar ampas kopi sebelum dan setelah modifikasi dapat dilihat melalui tabel 4.1.

Berdasarkan tabel 4.1 terdapat perbedaan hasil spektrum FTIR hidrochar ampas kopi sebelum dan setelah modifikasi yaitu hilangnya gugus C=O pada bilangan gelombang $1744,68 \text{ cm}^{-1}$. Hilangnya gugus karbonil pada spektrum FTIR hidrochar ampas kopi yang dimodifikasi dapat terjadi selama proses perlakuan secara kimia. Sebuah studi oleh Rattanapan dkk (2017) menemukan bahwa penambahan asam untuk memodifikasi permukaan yang disertai dengan pemanasan dapat menguraikan senyawa volatil pada karbon. Hasil spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi hidroksil dan karboksil pada kedua hidrochar tersebut. Adanya gugus karboksil dan hidroksil pada hidrochar ampas kopi dapat berperan sebagai ligan dan menyebabkan terjadinya ikatan dengan ion logam Cd (II) (Siregar, 2011).

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
 Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
Tabel 4. 1. Perbandingan Serapan Gugus Fungsi FTIR
 Hydrochar Ampas Kopi Sebelum dan Setelah modifikasi

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})		
	Pustaka (Zhang et al., 2020)	Hydrochar Ampas Kopi sebelum modifikasi	Hydrochar Ampas Kopi Setelah Modifikasi
O – H (stretching)	3800 – 3300	3739,61	3783,71
C – H (stretching)	2970 – 2845	2924,73	2925,02
C = O (stretching)	1760 – 1660	1744,68	-
C = C (stretching)	1640 – 1630	-	-
C – O (stretching)	1100 – 1000	1068,21	1070,15

D. Variasi Adsorpsi Ion Cd (II) Menggunakan Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi

1. Penentuan pH Optimum

Kemampuan adsorpsi suatu adsorben dipengaruhi oleh pH larutan. Hal ini berhubungan dengan protonasi atau deprotonasi permukaan sisi aktif dari adsorben (Nurhasni et al., 2014). Keasaman (pH) merupakan salah satu faktor penting yang memiliki dampak terhadap proses adsorpsi ion

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) logam dalam larutan. Penentuan pH optimum bertujuan untuk mengetahui nilai pH yang memberikan kapasitas adsorpsi maksimum dari hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap penyerapan ion Cd (II).

Penentuan pH optimum dilakukan dengan menimbang 0,1 gram hidrochar ampas kopi termodifikasi, lalu menambahkan 50 mL larutan ion Cd (II) dengan konsentrasi 25 mg/L dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Campuran kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Filtrat hasil pencampuran tersebut diukur konsentrasinya menggunakan AAS. Data hasil optimasi pada pH dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Optimasi pH

pH	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
2	25	20,55	2,225
3	25	16,69	4,155
4	25	15,19	4,905
5	25	4,593	10,2035
6	25	0,523	12,2385
7	25	3,182	10,909
8	25	5,249	9,8755

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
Perhitungan kapasitas adsorpsi untuk penentuan optimasi pH sebagai berikut:

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

a. pH 2

$$q_e = \frac{(25 - 20,55) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 2,225 \text{ mg/g}$$

b. pH 3

$$q_e = \frac{(25 - 16,69) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 4,155 \text{ mg/g}$$

c. pH 4

$$q_e = \frac{(25 - 15,19) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 4,905 \text{ mg/g}$$

d. pH 5

$$q_e = \frac{(25 - 4,593) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 10,2035 \text{ mg/g}$$

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

e. pH 6

$$q_e = \frac{(25 - 0,523) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 12,2385 \text{ mg/g}$$

f. pH 7

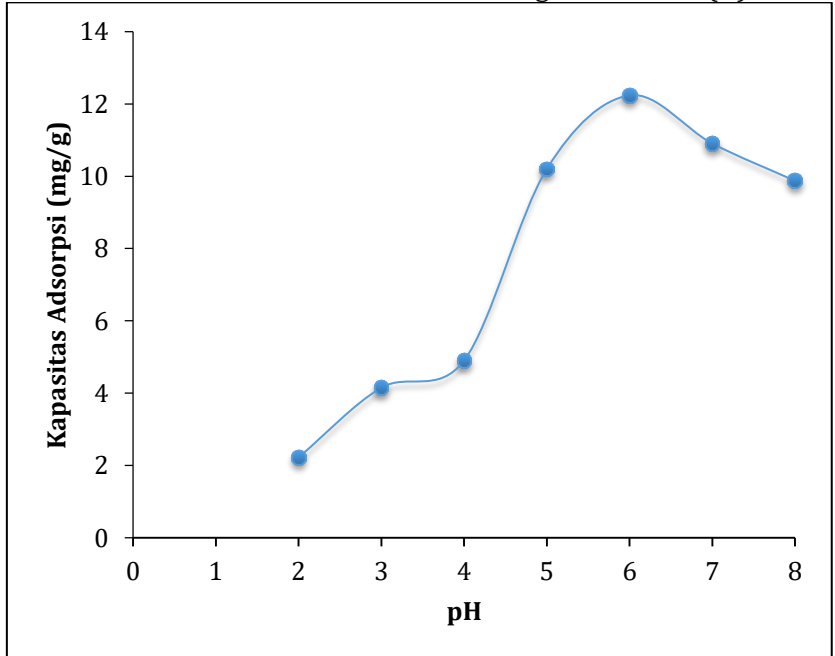
$$q_e = \frac{(25 - 3,182) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 10,909 \text{ mg/g}$$

g. pH 8

$$q_e = \frac{(25 - 5,249) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 9,8755 \text{ mg/g}$$

Grafik hubungan antara jumlah ion Cd (II) yang terserap oleh hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap variasi pH dapat dilihat pada gambar 4.4.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Kapasitas Adsorpsi Ion Cd (II) Terhadap Variasi pH

Berdasarkan gambar 4.4 di atas, kapasitas adsorpsi dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 masing-masing sebesar 2,225 mg/g; 4,155 mg/g; 4,905 mg/g; 10,2035 mg/g; 12,2385 mg/g; 10,909 mg/g; dan 9,8755 mg/g. Data tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kapasitas adsorpsi ion Cd (II) yang signifikan pada variasi pH 2 hingga 8. Pada pH larutan ion Cd (II) kurang dari 6 maka interaksi ion Cd (II) dengan hidrochar tidak optimal. Adsorpsi ion Cd (II) pada pH yang terlalu rendah akan

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) menyebabkan terjadinya kompetisi antara ion H^+ dengan ion Cd^{2+} sehingga mengakibatkan kapasitas adsorpsinya menurun pada pH rendah (Nguyen et al., 2021). Pada pH netral daya adsorpsi juga menurun. Hal ini dikarenakan pada pH netral ion-ion logam dapat mengalami reaksi hidrolisis dalam larutan sehingga menjadi tidak stabil dalam bentuk ion logam semula dan menyebabkan kemampuan adsorpsi hidrochar menurun. Pada pH basa, ion-ion logam dapat membentuk endapan hidroksida ($Cd(OH)_2$) sehingga kapasitas adsorpsinya sulit untuk dianalisis menggunakan AAS (Nurhasni et al., 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan, pH optimumnya berada pada pH 6 dengan penurunan kadar logam tertinggi terhadap ion Cd (II) sebesar 12,2385 mg/g. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa adsorpsi ion Cd (II) secara optimum terjadi pada pH 6 (Rohyami, 2013).

2. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak adsorpsi merupakan salah satu faktor yang dapat memberikan dampak terhadap proses adsorpsi ion logam yang dilakukan. Penentuan waktu kontak adsorpsi berguna untuk mengetahui waktu minimum yang diperlukan oleh adsorben hidrochar ampas kopi termodifikasi dalam mengadsorpsi ion Cd (II) secara maksimum hingga mencapai keadaan setimbang. Selama belum terjadi suatu kesetimbangan maka proses adsorpsi akan berlangsung terus menerus. Oleh karena itu, dibutuhkan variasi waktu kontak untuk mengetahui distribusi kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat (Widihati et al., 2012). Waktu optimum

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) merupakan waktu terjadinya kesetimbangan antara laju adsorpsi dan desorpsi (Wulandari et al., 2014).

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan menyiapkan 8 buah gelas beker 50 mL, dimana pada masing-masing gelas diisi dengan 0,1 gram hidrochar ampas kopi termodifikasi dan ditambahkan dengan 50 mL larutan ion Cd (II) yang pH nya telah diatur pada pH optimum yaitu 6. Campuran tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit pada suhu kamar. Campuran disaring menggunakan kertas saring dan filtrat yang dihasilkan diukur konsentrasinya akhirnya menggunakan AAS merk *Spectrometer: iCE 3000 AA05194702*. Data optimasi waktu kontak dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Optimasi Waktu Kontak

Waktu (menit)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
5	25	8,567	8,2165
10	25	6,743	9,1285
15	25	6,139	9,4305
30	25	3,076	10,962
60	25	2,48	11,26
90	25	2,641	11,1795
120	25	2,14	11,43
150	25	2,331	11,3345

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
Perhitungan kapasitas adsorpsi pada penentuan optimasi waktu kontak sebagai berikut:

a. Waktu Kontak 5 menit

$$q_e = \frac{(25 - 8,567) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 8,2165 \text{ mg/g}$$

b. Waktu kontak 10 menit

$$q_e = \frac{(25 - 6,743) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 9,1285 \text{ mg/g}$$

c. Waktu Kontak 15 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 6,139) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 9,4305 \text{ mg/g}$$

d. Waktu Kontak 30 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 3,076) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 10,962 \text{ mg/g}$$

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

e. Waktu Kontak 60 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 2,48) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 11,26 \text{ mg/g}$$

f. Waktu Kontak 90 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 2,641) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 11,1795 \text{ mg/g}$$

g. Waktu Kontak 120 Menit

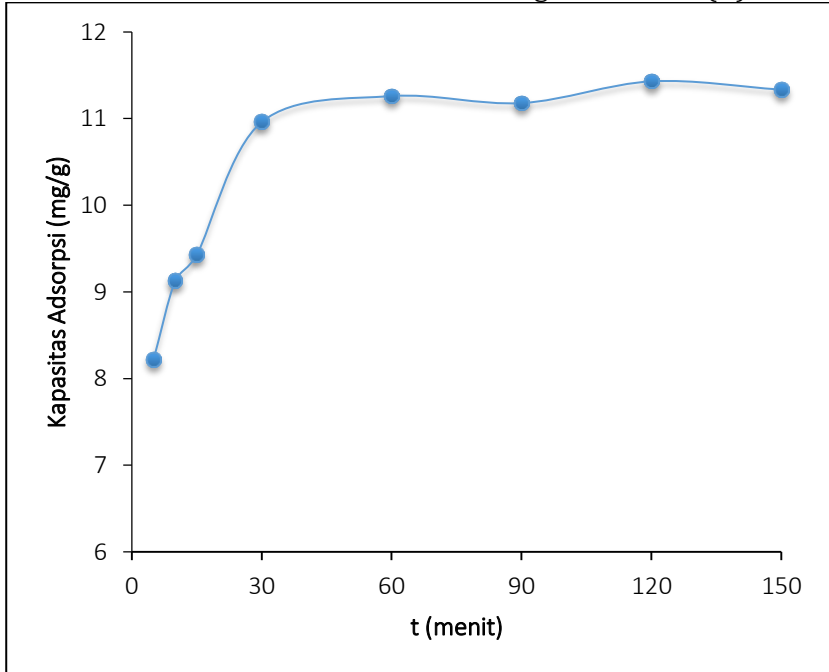
$$q_e = \frac{(25 - 2,14) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 11,43 \text{ mg/g}$$

h. Waktu Kontak 150 Menit

$$q_e = \frac{(25 - 2,331) \text{ mg/L}}{0,1 \text{ gram}} \times 0,05 \text{ L}$$
$$= 11,3345 \text{ mg/g}$$

Grafik hubungan antara jumlah ion Cd (II) yang terserap oleh hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap variasi waktu kontak dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Antara kapasitas Adsorpsi Ion Cd (II) Terhadap Pengaruh Waktu Kontak

Berdasarkan gambar 4.5 di atas diketahui bahwa kapasitas adsorpsi hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap ion Cd (II) masing-masing sebesar 8,2165 mg/g; 9,1285 mg/g; 9,4305 mg/g; 10,962 mg/g; 11,26 mg/g; 11,1795 mg/g; 11,43 mg/g; dan 11,3345 mg/g. Datar tersebut menunjukkan bahwa secara umum kapasitas adsorpsi ion Cd (II) mengalami peningkatan diawal proses adsorpsi seiring dengan bertambahnya waktu kontak.

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Hal tersebut berlangsung pada waktu kontak 5 hingga 120 menit. Hal ini sesuai dengan teori dimana semakin lama waktu pengontakan antara adsorben (hidrochar termodifikasi) dan adsorbat (larutan ion Cd (II)), maka semakin banyak pula ion yang dapat terserap (Ibnu Hajar et al., 2016). Pada menit ke 150 kapasitas adsorpsinya mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena setelah mencapai keadaan setimbang yaitu pada menit ke 120, ikatan antara adsorbat ion Cd (II) dengan adsorben hidrochar semakin lemah sehingga ion Cd (II) cenderung mempertahankan diri untuk tetap berada dalam larutan (Widihati et al., 2012). Penurunan daya adsorpsi setelah mencapai waktu kontak optimum disebabkan karena hidrochar mengalami desorpsi yaitu kondisi dimana hidrochar melepaskan kembali sampel limbah yang telah diadsorpsi karena adsorben telah jenuh oleh sampel limbah logam (Irmanto & Suyata, 2009). Ion Cd (II) akan berikatan dengan permukaan hidrochar sampai waktu kontak optimum. Pada saat waktu kontak hidrochar dengan adsorbat telah mencapai optimum atau lewat jenuh maka ion Cd (II) tidak dapat diterima lagi oleh permukaan adsorben dan akan dilepas kembali ke dalam larutan. Hal ini mengakibatkan nilai kapasitas adsorpsinya mengalami penurunan (Pranoto et al., 2018). Dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan ion Cd (II) dengan variasi waktu kontak yang paling tinggi terjadi pada waktu kontak 120 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 11,43 mg/g.

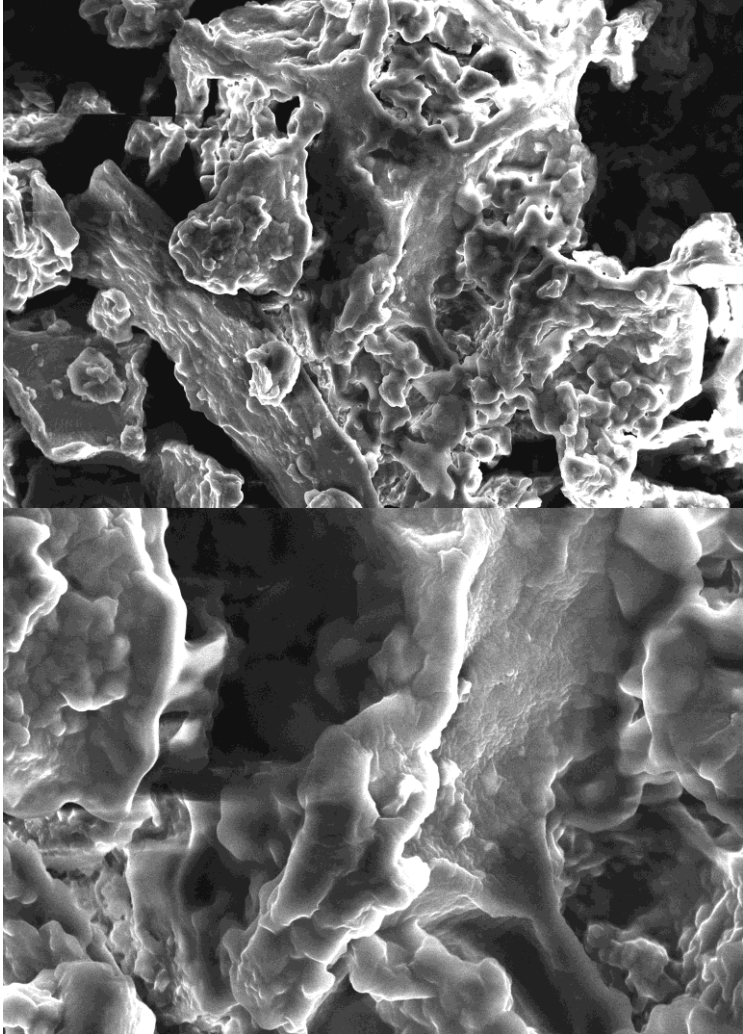
Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

E. Karakterisasi SEM-EDX Adsorben Hydrochar Ampas Kopi

Analisis komposisi kimia dari permukaan hidrochar ampas kopi sebelum dan sesudah modifikasi secara kualitatif dan kuantitatif dilakukan menggunakan SEM-EDX. Tujuan dari penggunaan SEM adalah untuk mengetahui perbedaan struktur permukaan hidrochar, sedangkan analisis EDX bertujuan untuk mengetahui persentase komponen-komponen kimia yang terkandung dalam hidrochar. Berdasarkan hasil analisis SEM yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan morfologi dan ketidakteraturan bentuk permukaan antara hidrochar sebelum dan sesudah modifikasi seperti terlihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.

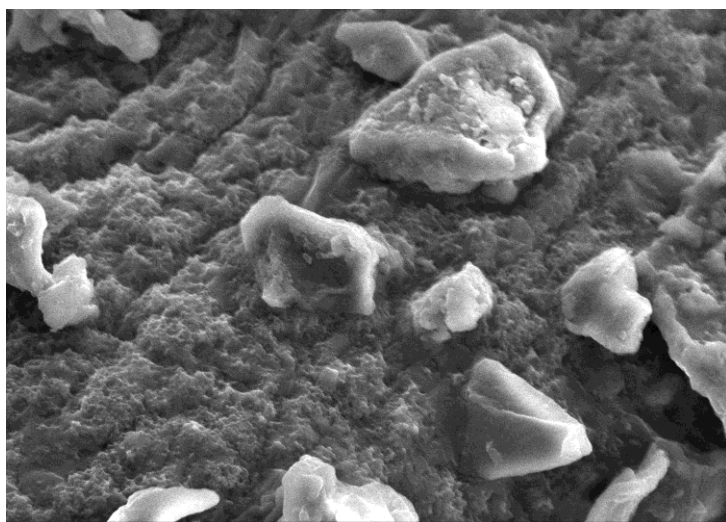
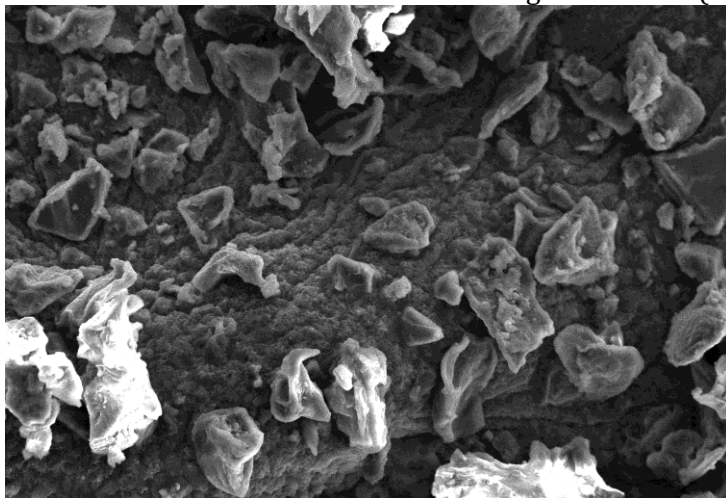
Pada gambar 4.6 menunjukkan struktur morfologi permukaan dari hidrochar ampas kopi sebelum modifikasi dengan perbesaran 1000x dan 3000x dimana memiliki permukaan yang tidak beraturan dan halus dengan ukuran pori-pori beragam. Hal ini disebabkan karena rekasi hidrolisis yang terjadi pada saat proses karbonisasi hidrotermal (Liu & Zhang, 2009). Gambar 4.7 menunjukkan struktur hidrochar ampas kopi sesudah modifikasi memiliki morfologi struktur permukaan yang kasar dan terdapat kepingan/gumpalan yang cukup bervariasi dengan distribusi tidak merata.

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 4.6. Hasil Karakterisasi SEM Hidrochar Sebelum Modifikasi dengan Perbesaran 1000x (atas) dan 3000x (bawah)

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 4.7. Hasil Karakterisasi SEM Hidrochar
Sesudah Modifikasi dengan Perbesaran 1000x (atas) dan
3000x (bawah)

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Hasil analisis EDX terhadap hidrochar sebelum dan sesudah modifikasi menunjukkan komposisi elemen-elemen kimia yang terdapat pada hidrochar tersebut. Berdasarkan analisis EDX tabel perbandingan komposisi unsur dari hidrochar sebelum dan sesudah modifikasi dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4. 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 4.4 di atas menunjukkan adanya unsur C dan O yang merupakan dua unsur penyusun adsorben secara umum (Cintia et al., 2022). Penambahan H_2O_2 berdampak kecil pada komposisi unsur-unsur mineral (Na, Mg, Cl, dan Ca) dari kedua

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) hidrochar. 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 sebelumnya, dimana penambahan H_2O_2 dapat mengoksidasi permukaan berkarbonisasi dan meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen, terutama gugus karboksil. Gugus fungsi oksigen yang terdapat pada permukaan hidrochar termodifikasi dapat bertindak sebagai asam atau basa yang mampu meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap ion Cd (II) (Song et al., 2010)

Karakterisasi SEM-EDX dilakukan pada hidrochar ampas kopi termodifikasi setelah dilakukan uji adsorpsi pada ion Cd (II). Hal ini bertujuan untuk membuktikan keberadaan unsur logam berat Cd 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 4.5.

Berdasarkan tabel 4.5 diketahui bahwa pada hidrochar ampas kopi modifikasi setelah proses adsorpsi mengandung unsur Cd dengan persentase sebesar 0,25%. Berikut struktur morfologi permukaan hidrochar ampas kopi termodifikasi setelah proses adsorpsi ion Cd (II).

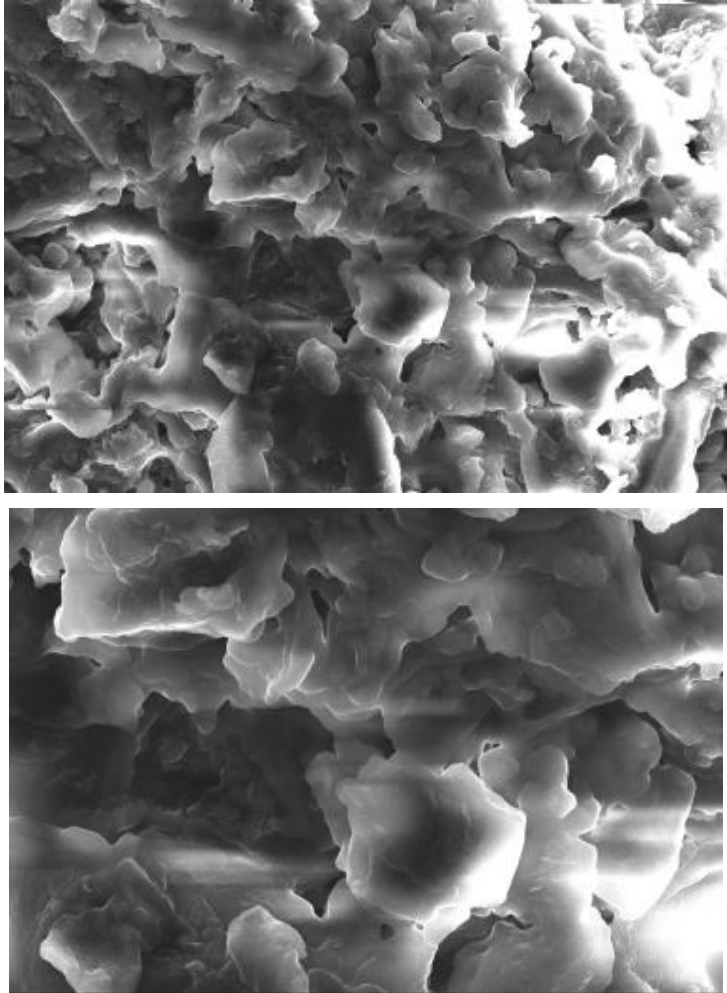
Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
 Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
Tabel 4.5. Perbandingan Komposisi Unsur Hidrochar
 Termodifikasi Sebelum dan Setelah Dilakukan Uji
 Adsorpsi

Komposisi Unsur (% massa)	Jenis Adsorben	
	Hidrochar Modifikasi Sebelum Adsorpsi	Hidrochar Termodifikasi Setelah Adsorpsi
C	72,13	69,17
O	27,73	30,47
Na	0,02	-
Mg	0,02	-
Cl	-	-
Ca	0,10	0,01
Cd	-	0,25
Pb	-	0,10

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pemindaian menggunakan SEM dengan perbesaran 1000 dan 2000 kali pada hidrochar ampas kopi setelah proses adsorpsi. Terlihat adanya perbedaan morfologi struktur permukaan hidrochar sebelum dan setelah proses adsorpsi ion Cd (II) yang ditandai dengan terjadinya penebalan pada permukaan hidrochar. Hal ini membuktikan jika hidrochar ampas kopi termodifikasi mampu mengadsorpsi ion Cd (II).

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 4.8. Hasil Karakterisasi SEM Hidrochar Ampas Kopi Modifikasi Setelah Adsorpsi dengan Perbesaran 1000x (kiri) dan 2000x (kanan)

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

F. Kinetika Adsorpsi

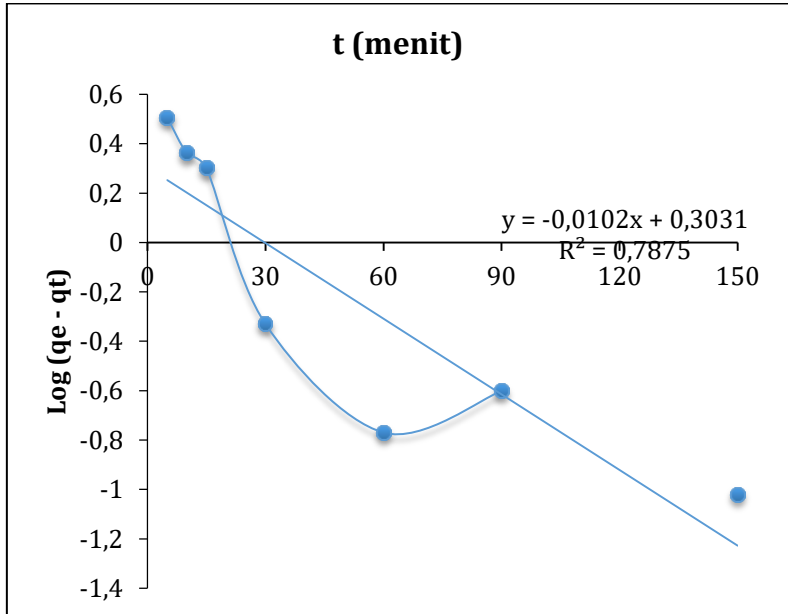
Kinetika adsorpsi merupakan salah satu faktor yang penting dalam proses adsorpsi karena menunjukkan tingkat kecepatan penyerapan adsorben terhadap adsorbatnya (Widihati et al., 2012). Kemampuan adsorpsi suatu adsorben terhadap adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Pengujian terhadap laju adsorpsi dilakukan dengan menentukan nilai *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Data penentuan *pseudo* orde satu dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. 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)
5	8,2165	11,43	3,2135	0,5069
10	9,1285	11,43	2,3015	0,362
15	9,4305	11,43	1,9995	0,3009
30	10,962	11,43	0,468	-0,3297
60	11,26	11,43	0,17	-0,7695
90	11,1795	11,43	0,2505	-0,6011
120	11,43	11,43	0	
150	11,3345	11,43	0,0955	-1,0199

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

Berdasarkan tabel diatas dapat dibuat kurva t vs $\log (q_e - q_t)$ dengan *slope* adalah k_1 dan *intercept* adalah q_e . Kurva t vs $\log (q_e - q_t)$ ditunjukkan pada grafik hasil penentuan kinetika adsorpsi *pseudo* orde satu yang dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Satu

Berdasarkan gambar 4.9, diperoleh persamaan *pseudo* orde satu adalah $y = -0,0102x + 0,3031$ dan $R^2 = 0,7875$. Untuk mencari nilai k_1 dan q_e dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

$$y = -0,0102x + 0,3031$$

$$R^2 = 0,7875$$

a. Perhitungan Nilai k_1

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

$$\frac{k_1}{2,303} = -0,0102$$

$$k_1 = -0,0234$$

b. Perhitungan Nilai q_e

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

$$\text{Log } q_e = 0,3031$$

$$q_e = 10^{0,3031} = 2,009$$

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

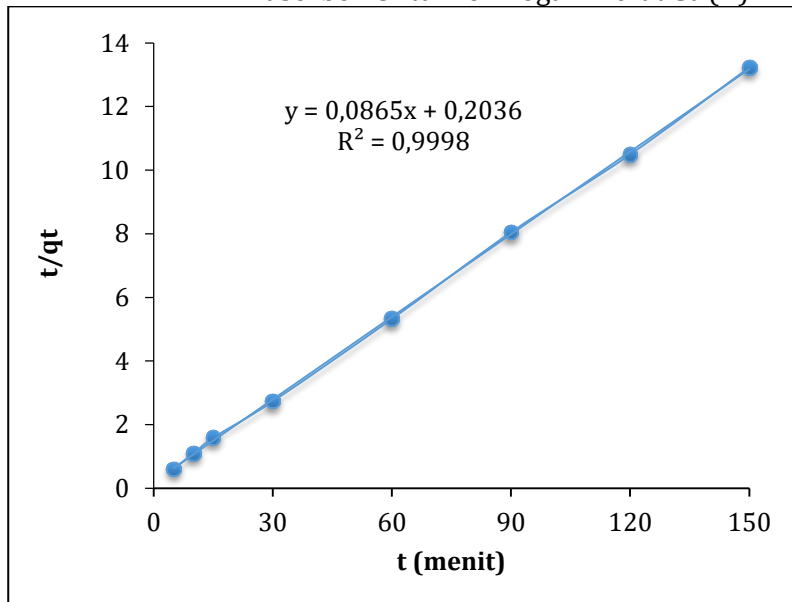
Data penentuan *pseudo* orde dua dapat dilihat pada
tabel 4.7

Tabel 4.7. Data penentuan *pseudo* orde dua

t (menit)	q _t (mg/g)	t/q _t
5	8,2165	0,6085
10	9,1285	1,0955
15	9,4305	1,5906
30	10,962	2,7367
60	11,26	5,3286
90	11,1795	8,0504
120	11,43	10,4987
150	11,3345	13,2339

Berdasarkan tabel di atas, dapat dibuat kurva t vs t/q_t dengan *slope* adalah 1/q_e dan *intercept* adalah 1/k₂q_e². Kurva t vs t/q_t ditunjukkan pada gambar berikut:

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)



Gambar 4.10. Grafik Kinetika Adsorpsi *Pseudo* Orde Dua

Berdasarkan gambar kurva di atas, diperoleh persamaan *pseudo* orde dua yaitu $y = 0,0865x + 0,2036$ dan $R^2 = 0,9998$. Untuk mencari nilai k_2 dan q_e dapat dihitung dengan cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0865x + 0,2036$$

$$R^2 = 0,9998$$

- a. Perhitungan Nilai q_e

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

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

$$\frac{1}{q_e} = 0,0865$$

$$q_e = \frac{1}{0,0865}$$

$$q_e = 11,5606$$

b. Perhitungan Nilai k₂

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

$$\frac{1}{k_2 \cdot (11,5606)^2} = 0,2036$$

$$k_2 = \frac{1}{0,2036 \cdot (11,5606)^2}$$

$$k_2 = 0,0367$$

Berdasarkan gambar 4.9 dan 4.10 dapat disimpulkan bahwa orde reaksi hidrochar ampas kopi termodifikasi terhadap adsorpsi ion Cd (II) mengikuti kinetika adsorpsi *pseudo* orde dua. Hal ini dapat dilihat dari kelinieritas kurva yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi linier yang dihasilkan. Nilai koefisien korelasi linier (R²) pada grafik *pseudo* orde dua memiliki nilai sebesar 0,9998 lebih besar dibandingkan dengan nilai R² *pseudo* orde satu yaitu 0,7875.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hidrochar ampas kopi yang telah disintesis memiliki gugus fungsi hidroksil, karbonil, dan karboksil yang dapat mengikat ion logam Cd (II). Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX menunjukkan bahwa pada permukaan hidrochar ampas kopi termodifikasi larutan H_2O_2 terdapat peningkatan komposisi unsur oksigen pada permukaannya dan memiliki morfologi struktur permukaan yang kasar dan terdapat

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) kepingan/gumpalan yang cukup bervariasi dengan distribusi tidak merata.

2. Kondisi optimum untuk menurunkan kadar ion logam Cd (II) menggunakan hidorchar ampas kopi termodifikasi dicapai pada pH 6, dan waktu kontak 120 menit.
3. Data Kinetika adsorpsi yang diperoleh dari penelitian ini cocok dengan model *pseudo* orde dua dengan nilai determinan sebesar 0,9998.

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (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. *Journal Renewable Energy*, *147*, 1380–1391.
- 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

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) Corncob and Characterization of The Obtained Hydrochar. *Journal Chemical Engineering Transactions*, 50, 235–240.

- Artika, N., Subagyono, R. R. D. J. ., & Hiyahara, I. A. (2019). Adsorpsi Ion Logam Berat Pb (II) dengan Biochar Residu Pirolisis Kayu Macaranga gigantea. *Jurnal Kimia FMIPA UNMUL*, 109–113.
- 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.
- Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12), 3493–3503.
- 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.
- 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., Silva, 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.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) (2013). Quantification of *Coffea Arabica* and *Coffea Canephora* var. *Robusta* in Roasted and Ground Coffee Blends. *Talanta*, 106, 169–173.

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).

Ding, J., Jiang, Y., Fu, L., Liu, Q., Peng, Q., & Kang, M. (2015). Impacts of Land Use on Surface Water Quality in a Subtropical River Basin: A Case Study of the Dongjiang River Basin, Southeastern China. *Water Journal*, 7, 4427–4445.

Eriska, H., Dewi, K., Darmawan Pasek, A., & Damanhuri, E. (2016). Hydrothermal Carbonization of Biomass Waste by Using a Stirred Reactor: an Initial Experimental Results. *Reaktor*, 16(4), 212–217.

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.

Girikallo, G. G., Joseph, W. B. S., & Maddusa, S. S. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Logam Berat Cadmium (Cd) pada Masyarakat Sekitar Sungai yang Mengonsumsi Ikan Nilem (*Ostoechillus vittatus*) dari Sungai Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(2), 90–96.

- Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H_2O_2 Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivator H_3PO_4 untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), 5–10.
- Gupta, N., Kushwaha, A. K., & Chattopadhyaya, M. C. (2012). Adsorptive Removal of Pb^{2+} , Co^{2+} and Ni^{2+} by Hydroxyapatite/Chitosan Composite From Aqueous Solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43, 125–131.
- Haryanto, B., K Sinaga, W., & T Saragih, F. (2019). Kajian Model Interaksi pada Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd^{2+}) dengan Menggunakan Adsorben dari Pasir Hitam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), 79–84.
- Haura, U., Razi, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerja 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. (2004). Citation Review of Lagergren Kinetic Rate Equation on Adsorption Reactions. *Scientometrics*, 59(1), 171–177.
- Ibnu Hajar, E. W., Sitorus, R. S., Mulianingtias, N., & Welan, F. J. (2016). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb^{2+} dan Cd^{2+} Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1), 1–7.
- ICO. (2019). *Coffee Production*.

- Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
- Irmanto, & Suyata. (2009). Penurunan Kadar Amonia, Nitrit, dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. *Molekul*, 4(2), 105–114.
- 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.
- Kamarudin, M. K. A., & Yunus, K. (2015). Heavy Metal in Fish: Analysis and Human Health-a Review. *Jurnal Teknologi*, 77(1), 61–69.
- Kepmenkes RI. (2002). *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran Dan Industri*. 1–22.
- 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.
- Kim, M. S., Min, H. G., Koo, N., Park, J., Lee, S. H., Bak, G. I., & Kim, J. G. (2014). The Effectiveness of Spent Coffee Grounds and its Biochar on The Amelioration of Heavy Metals-Contaminated Water and Soil Using Chemical and Biological Assessments. *Journal of Environmental Management*, 146, 124–130.
- Komkiene, J., & Baltreinaite, E. (2016). Biochar as Adsorbent for Removal of Heavy Metal Ions [Cadmium(II),

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (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.
- 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.
- Libra, J. A., Ro, K. S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N. D., Neubauer, Y., Titirici, M. M., Fuhner, C., Bens, O., Kern, J., & Emmerich, K. H. (2011). Hydrothermal Carbonization of Biomass Residuals: a Comparative Review of the Chemistry, Processes and Applications of Wet and Dry Pyrolysis. *Biofuels*, 2(1), 71–106.
- 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.

- Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
- Lu, X., Flora, J. R. V., & Berge, N. D. (2014). Influence of Process Water Quality on Hydrothermal Carbonization of Cellulose. *Biosource Technology*, 154, 229–239.
- 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.
- Mohammed, M. A., Shitu, A., Tadda, M. A., & Ngabura, M. (2014). Utilization of Various Agricultural Waste Materials in the Treatment of Industrial Wastewater Containing Heavy Metals: A Review. *International Research Journal of Environment Science*, 3(3), 62–71.
- 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.
- 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. *Journal Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 2, 205–212.

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)

- 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.
- Namara, I., Kurniati, & Jaelani, R. (2016). Klasifikasi Kualitas Air Sungai Cisadane Kota Tangerang. *Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa*, 48–56.
- Natsir, N. A., Hanike, Y., Rijal, M., & Bachtiar, S. (2019). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Air, Sedimen dan Organ Mangrove di Perairan Tulehu. *Journal Biology Science and Education*, 8(2), 149–159.
- Nguyen, V. T., Vo, T. D. H., Tran, T., Nguyen, T. N., Le, T. N. C., Bui, X. T., & Bach, L. G. (2021). Biochar Derived From The Spent Coffee Ground For Ammonium Adsorption From Aqueous Solution. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 1–7.
- 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.
- Nurhasni, N., Hendrawati, H., & Saniyyah, N. (2014). Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah. *Jurnal Kimia Valensi*, 4(1), 36–44.

- Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
- Palar, H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Permana, E., Zahar, W., Prabawa, A. D., Ardianto, D., & Efrianti, Y. (2021). Pemanfaatan Teknologi Adsorpsi Sebagai Solusi Penyediaan Air Bersih di Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Literasi*, 1(2), 156–162.
- 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.
- Pulungan, A. F., & Wahyuni, S. (2021). Analisis Kandungan Logam Kadmium (Cd) dalam Air Minum Isi Ulang (AMIU) Di Kota Lhokseumawe, Aceh. *AVERROUS: Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan Malikussaleh*, 7(1), 75–83. <https://doi.org/10.29103/averrous.v7i1.3666>
- 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.
- Rohyami, Y. (2013). Penentuan Cu, Cd, dan Pb dengan AAS Menggunakan Solid Phase Extraction. *Jurnal Inovasi Dan Kewirausahaan*, 2(1), 19–25.
- 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. *Journal Fuel Processing Technology*, 103, 78–83.

- Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
- Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2009). Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya). In *USU Digital Library*. Universitas Sumatera Utara.
- Setyowati, J. (2018). *Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cu, Cd, dan Mn dalam Air Limbah Menggunakan Adsorben Serbuk Gergaji Kayu Meranti*. Program Studi Kimia UIN Syarif Hidayatullah.
- 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*

Hidrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai
Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II)
Semarang. Fakultas Kesehatan Lingkungan Universitas
Diponegoro.

- 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.
- Syachroni, S. H. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanah Sawah di Kota Palembang. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kehutanan*, 6(1), 23 – 29.
- 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.
- Tirono, M., & Sabit, A. (2011). Efek Suhu pada Proses Pengarangan Terhadap Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa (Coconut Shell Charcoal). *Jurnal Neutrino*, 3(2), 143–152.
- 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.
- U.S Department, H. and H. (2012). *Toxicological Profile for*

Hydrochar Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) *Cadmium*. Atlanta: U. S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

- Walewangko, Y., Bujung, C. A. N., & Rende, J. C. (2021). Analisis Komposisi Unsur dan Jenis Mineral Batuan Gunung Api Soputan Menggunakan SEM-EDX Dan FTIR. *Jurnal FisTa: Fisika Dan Terapannya*, 2(1), 55–60.
- 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.
- Widihati, I. A. G., Suastuti, N. G. A. M. D. A., & Nirmalasari, M. A. Y. (2012). Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) Menggunakan Arang Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*). *Jurnal Kimia*, 6(1), 8–16.
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. P. (2014). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 33–39.
- Wulandari, Y., Kurniasari, L., & Riwayati, 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 Ampas Kopi Termodifikasi H₂O₂ Sebagai Adsorben Untuk Ion Logam Berat Cd (II) (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.