

**SINTESIS *BIOCHAR*/Fe₃O₄ DARI LIMBAH SEKAM PADI UNTUK
ADSORPSI ION LOGAM TEMBAGA (Cu²⁺)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains

(S. Si) Program Studi Kimia

Pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta



Diajukan oleh:

ADITYA ARIEF NUGRAHA

No Mahasiswa: 19612066

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2023

**SINTESIS *BIOCHAR/Fe₃O₄* DARI LIMBAH SEKAM PADI UNTUK
ADSORPSI ION LOGAM TEMBAGA (Cu²⁺)**

SKIPRSI

yang diajukan oleh:

ADITYA ARIEF NUGRAHA

No. Mahasiswa: 19612066

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Penguji Skripsi
Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 23 Oktober 2023

Dewa Penguji

1. Dr. Maisari Utami, S.Si.
2. Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D.
3. Dr. Habibi Hidayat, S.Pd., M.Si.
4. Nurcahyo Irian Prakoso, S.Si., M.Sc., Ph.D.

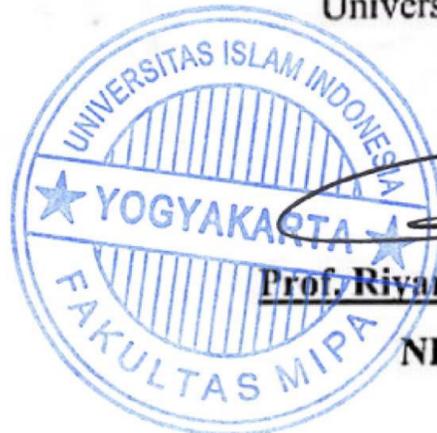
Tanda Tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia




Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.

NIK. 006120101



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aditya Arief Nugraha
NIM : 19612066
Prodi : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Sintesis *Biochar/Fe₃O₄* dari Limbah Sekam Padi untuk Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu^{2+})**" bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang telah disebutkan dalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, akan saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini di buat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 24 Oktober 2023

Yang menyatakan,



Aditya Arief Nugraha

NIM. 19612066

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robil a'lammin puji syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan beribu-ribu kenikmatan kepada kita, serta petunjuk dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menulis skripsi yang berjudul **“Sintesis *Biochar/Fe₃O₄* dari Limbah Sekam Padi untuk Adsorpsi Ion Logam Tembaga (Cu²⁺)”** ini dapat terselesaikan tepat waktu.

Skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material maupun nonmaterial, pada kesempatan ini penulis mengucapkan beribu-ribu terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat, rahmat dan karunia-Nya sehingga pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi dapat berjalan dengan lancar.
2. Alm. Bapak Arifin selaku ayah kandung yang telah berjasa dalam memberikan dukungan dan kasih sayang yang tiada gantinya hingga akhir hayat beliau. Semoga segala amal ibadahnya diterima dan segala kesalahannya diampuni serta diberikan tempat terbaik disisi Allah SWT.
3. Ibu Ponirah selaku ibu kandung yang telah memberikan dukungan paling luar biasa dan kasih sayang tiada gantinya. Semoga kesehatan dan keberkahan selalu mengiringi beliau, serta segala harapannya tentang penulis dapat terwujud.
4. Bapak Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia dan dosen pembimbing 2 yang telah memberikan segala usaha dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi sehingga dapat berjalan lancar.
6. Dr. Maisari Utami, S.Si. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan segala usaha terbaik sehingga proses penelitian dan

penyusunan skripsi dapat berjalan dengan lancar. Semoga Kesehatan dan kesuksesan selalu mengiringi beliau.

7. Keluarga yang senantiasa mendoakan dan mendukung selama masa perkuliahan. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan dan keberkahan.
8. Annisa Azzahra Afandi Putri selaku partner kuliah dan penelitian yang telah memberikan dukungan dan kerjasamanya selama proses tersebut.
9. Galih Dwiki Ramanda, S.Si. selaku dosen pembimbing 3 yang telah memberikan usaha terbaiknya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan baik.
10. Anggota Kontrakan Tempur selaku teman seperjuangan perkuliahan yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi dengan baik.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
12. *Last but not least, I wanna thank me, for believing in me, for doing all these hard work, for having no days off, for never quitting, for always being a giver and trying to give more than I receive, for trying to do more right than wrong, and for just being me all time.*

Dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan serta kesalahan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan penulisan skripsi ini serta semoga bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, 20 Oktober 2023

Aditya Arief Nugraha

**SINTESIS *BIOCHAR*/Fe₃O₄ DARI LIMBAH SEKAM PADI UNTUK
ADSORPSI ION LOGAM TEMBAGA (Cu²⁺)**

INTISARI

**ADITYA ARIEF NUGRAHA
No. Mahasiswa: 19612066**

Telah dilakukan penelitian tentang aplikasi biokomposit *biochar*/Fe₃O₄ dari sekam padi terhadap adsorpsi ion logam tembaga (Cu²⁺). Penelitian ini dilakukan dengan metode adsorpsi. Kelebihan dari metode adsorpsi yaitu prosesnya lebih sederhana, ramah lingkungan, tidak adanya efek racun dan biaya operasionalnya yang relatif murah. Metode sintesis dilakukan dengan metode pirolisis pada suhu 300 °C selama 1 jam, kemudian diaktivasi menggunakan ZnCl₂ yang dimodifikasi menggunakan prekursor magnetit FeCl₂·6H₂O dan FeSO₄. *biochar*/Fe₃O₄ ini divariasikan dengan adanya penambahan pH 10 dan pH 12. Hasil *biochar* dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen *Fourier transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Pada hasil FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi Fe pada *biochar* pH 10 dan pH 12 dengan panjang gelombang 589 cm⁻¹ dan 588-589 cm⁻¹. Pada hasil XRD terdapat kandungan Fe₃O₄ pada *biochar* pH 10 dan *biochar* pH 12. Berdasarkan hasil SEM dapat terlihat gumpalan-gumpalan berwarna putih yang merupakan Fe₃O₄ dengan permukaan yang berpori pada *biochar* pH 10 dan pH 12. Hasil EDX menunjukkan kandungan Fe pada *biochar* pH 10 dan pH 12. Adsorpsi ion logam tembaga dilakukan dengan variasi waktu kontak 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit dengan berat adsorben 0.08 gram untuk menyerap 5 ppm larutan tembaga. Hasil adsorpsi dianalisis dengan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dan didapatkan kurva % adsorpsi vs waktu kontak. Berdasarkan proses adsorpsi diperoleh *biochar* pH 10 mencapai waktu kontak optimum pada 30 menit dengan % adsorpsi sebesar 89,04%, sedangkan pada *biochar* pH 12 membutuhkan waktu sampai 90 menit untuk mencapai penyerapan maksimalnya dengan nilai sebesar 89,48%.

Kata kunci: *biochar*, adsorpsi, tembaga

SYNTHESIS OF *BIOCHAR*/Fe₃O₄ FROM RICE HUSK WASTE FOR THE ADSORPTION OF COPPER (Cu²⁺) METAL IONS

ABSTRACT

ADITYA ARIEF NUGRAHA

No. Mahasiswa: 19612066

Research has been conducted on the application of *biochar*/Fe₃O₄ biocomposite from rice husk to the adsorption of copper metal ions (Cu²⁺). This research was conducted using adsorption method. The advantages of the adsorption method are simpler process, environmentally friendly, no toxic effects and relatively low operational costs. The synthesis method was carried out by pyrolysis method at 300 °C for 1 hour, then activated using ZnCl₂ which was modified using magnetite precursors FeCl₂·6H₂O and FeSO₄. *Biochar*/Fe₃O₄ was varied with the addition of pH 10 and pH 12. The biochar results were characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) instruments. FTIR results showed the presence of Fe functional groups in biochar pH 10 and pH 12 with wavelengths of 589 cm⁻¹ and 588-589 cm⁻¹. Based on the SEM results, white clumps can be seen which are Fe₃O₄ with a porous surface on biochar pH 10 and pH 12. EDX results show the content of Fe in biochar pH 10 and pH 12. Adsorption of copper metal ions was carried out with a variation of contact time of 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes, and 150 minutes with an adsorbent weight of 0.08 grams to absorb 5 ppm of copper solution. The adsorption results were analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) instrument and the results were obtained.

Keywords: *biochar, adsorption, copper*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	II
KATA PENGANTAR	III
INTISARI	V
ABSTRACT	VI
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR GAMBAR	IX
DAFTAR TABEL	X
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. <i>Biochar</i> dari Sekam Padi.....	4
2.2. Pemanfaatan <i>Biochar</i> sebagai Adsorben Logam Cu.....	5
2.3. <i>Biochar</i> Termodifikasi Besi oksida.....	6
BAB III	8
DASAR TEORI	8
3.1. <i>Biochar</i>	8
3.2. Adsorpsi	10
3.1. Aktivasi	12
3.2. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	13
3.3. <i>X-ray Diffraction</i> (XRD).....	14
3.4. <i>Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX). 15	
3.5. Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).....	17
BAB IV	18
METODELOGI PENELITIAN	18
4.1. Alat dan Bahan Penelitian	18
4.1.1. Alat.....	18

4.1.2	Bahan.....	18
4.2.	Cara Kerja	18
4.1.2.	Preparasi <i>biochar</i> dari sekam padi	18
4.1.3.	Aktivasi <i>biochar</i>	19
4.1.4.	Sintesis magnetik <i>biochar</i> /Fe ₃ O ₄ variasi pH 10 dan pH 12	19
4.1.5.	Proses adsorpsi.....	19
BAB V	.....	20
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	20
5.1.	Preparasi <i>Biochar</i> dari Sekam Padi.....	20
5.2.	Aktivasi <i>Biochar</i>	21
5.3.	Sintesis Magnetik <i>Biochar</i> /Fe ₃ O ₄	22
5.3.1.	Variasi pH	23
5.4	Karakterisasi <i>Biochar</i>	24
5.4.1	Analisis Gugus Fungsi Adsorben dengan FTIR	24
5.4.2	Analisis Fasa Adsorben dengan XRD.....	29
5.4.3	Analisis Stuktur Morfologi Adsorben dengan SEM-EDX.....	33
5.5	Uji Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) dengan Variasi Waktu Kontak menggunakan Instrumen AAS	35
BAB VI	.....	37
PENUTUP	.....	37
6.1	Kesimpulan	37
6.2	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	.....	39
LAMPIRAN	.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur <i>Biochar</i>	9
Gambar 2. Proses Perubahan Sinyal Spektroskopi FTIR	14
Gambar 3. Skema Instrumen XRD.....	15
Gambar 4. Skema SEM-EDX	16
Gambar 5. Prinsip kerja spektrofotometri serapan atom	17
Gambar 6. <i>Biochar</i> Sekam Padi	21
Gambar 7. Mekanisme reaksi $ZnCl_2$ dalam menghasilkan pori <i>biochar</i>	21
Gambar 8. Pemisahan dengan magnet antara <i>biochar</i> teraktivasi (a), <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i> (b), dan <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i> (c).....	23
Gambar 9. Spektra FTIR <i>biochar</i> teraktivasi	25
Gambar 10. Spektra FTIR <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i>	26
Gambar 11. Spektra FTIR <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i>	27
Gambar 12. Spektra FTIR <i>biochar</i> teraktivasi, <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i> dan <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i>	28
Gambar 13. Difraksi XRD <i>biochar</i> teraktivasi, <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i> dan <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i>	30
Gambar 14. Citra morfologi <i>biochar</i> teraktivasi (a), <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i> (b), dan <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i> (c) dengan perbesaran 3000 kali	34
Gambar 15. Kurva perbandingan waktu kontak <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i> dan <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i>	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Gugus fungsi pada <i>biochar</i> teraktivasi, <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i> dan <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i>	29
Tabel 2. Difraktogram <i>biochar/Fe₃O₄/pH 10</i>	31
Tabel 3. Difraktogram <i>biochar/Fe₃O₄/pH 12</i>	32
Tabel 4. Hasil Analisis EDX	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor pertanian Indonesia merupakan jenis pertanian tropika. Hal ini karena Indonesia berada di daerah tropis yang dilewati langsung oleh garis khatulistiwa. Dari berbagai hasil pertaniannya, yang menjadi salah satu komoditas tanaman pangan utama di Indonesia adalah padi yang hasil produksinya masih menjadi bahan makanan pokok (Lumintang, 2013).

Tanaman padi (*Oryza sativa L.*) ialah tanaman penghasil beras yang merupakan salah satu sumber utama karbohidrat. Di Indonesia, hampir 95% penduduknya mengonsumsi beras sebagai bahan pangan pokok. Hal ini menjadikan pada setiap tahunnya permintaan akan kebutuhan beras semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk Indonesia (Pratiwi dkk., 2016). Tanaman padi menjadi bahan makanan pokok karena didalamnya terkandung nutrisi yang diperlukan oleh tubuh manusia. Pada padi giling terkandung karbohidrat sebesar 78,9 %, lemak 0,7%, protein 6,8%, dan lain-lain 0,6%. Indonesia sendiri sebagai salah satu negara dengan jumlah penduduk terbanyak dunia menghadapi berbagai tantangan dalam memenuhi kebutuhan pangan tersebut dan juga tantangan terhadap setelah terpenuhinya kebutuhan tersebut (Hariningsih, 2016).

Sejalan dengan produksi padi yang melimpah, hal ini juga menimbulkan peningkatan salah satu hasil sampingan dari pertanian padi yaitu sekam padi. Sekam padi merupakan bagian terluar dari butir padi yang merupakan hasil samping pada saat proses penggilingan padi. Pada saat proses penggilingan, sekam padi akan terpisah dari butiran beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Kadar sekam adalah 20-30% dari bobot gabah yang digiling, dedak 15%, dan beras giling 50-53,5% (Tentama, 2018).

Saat ini, pemanfaatan dari sekam padi masih terbatas, sehingga sekam padi tetap menjadi bahan limbah yang dapat mengganggu lingkungan. Masyarakat khususnya petani belum mampu memanfaatkan limbah sekam padi tersebut secara maksimal karena minimnya kesadaran, pengetahuan maupun ketrampilan untuk

mengolahnya menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Pada dasarnya, sekam padi dapat dimanfaatkan untuk berbagai hal, salah satunya sebagai *biochar*. Sebanyak 6,8 juta ton sekam padi setiap tahunnya dapat dimanfaatkan sebagai *biochar* dan diperkirakan dapat menghasilkan *biochar* sekitar 1,77 juta ton per tahun (Sarwani dkk., 2013). *Biochar* merupakan arang berpori yang didapatkan dari proses karbonisasi. *Biochar* berasal dari tumbuhan dan memiliki sifat stabil serta memiliki kandungan karbon >50% (Mikel, 2017).

Biochar adalah salah satu produk dari pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi bahan menggunakan temperatur tinggi tanpa adanya oksigen ataupun dengan udara yang terbatas. Pada proses pirolisis menghasilkan tiga produk yaitu gas (*fuel gas*), cair (*bio-oil*) dan padatan yang merupakan *biochar* (Ridhuan, 2016). Ciri-ciri dari *biochar* ialah berpori dan memiliki mikroporositas yang dominan serta luas permukaan spesifik yang tinggi sehingga sangat cocok untuk dijadikan bahan adsorben yang dapat digunakan secara efisien dalam pengolahan air yang tercemar logam berat (Komkiene, 2016).

Logam berat yang mencemari lingkungan kini menjadi masalah yang serius, hal ini karena penggunaan logam berat yang semakin meningkat khususnya dalam bidang industri. Walaupun secara biologis, logam diperlukan oleh makhluk hidup. Namun pada konsentrasi tertentu dapat berakibat fatal apabila masuk ke dalam tubuh dengan jumlah yang berlebihan. Hal ini karena logam berat dapat menjadi racun yang meracuni tubuh (Nirmala dkk., 2015). Salah satu jenis logam berat yang keberadaannya dapat merusak sistem fisiologi makhluk hidup dan lingkungan jika keberadaannya melewati batas yang telah ditetapkan adalah logam tembaga (Cu) (Khanifa dkk., 2019). Akibat dari kontaminan logam tembaga yang melebihi ambang batas ialah mengakibatkan kerusakan fungsi saraf pusat, sistem kardiovaskular dan gastrointestinal, ginjal, paru-paru, kelenjar endokrin, hati, dan tulang (Lakherwal, 2014).

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan dalam menangani logam berat dalam ialah dengan menggunakan metode adsorpsi. Cara ini merupakan metode yang sangat berguna untuk mengolah limbah logam berat, selain karena biayanya yang relatif murah, tetapi juga karena memiliki kapasitas penyerapan tinggi

(Haryati dkk., 2011). Salah satu alternatif adsorben yang dapat digunakan dalam metode adsorpsi yaitu *biochar* (Widiastuti, 2017).

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan adsorpsi ion logam tembaga (Cu^{2+}) menggunakan *biochar/Fe₃O₄* yang diperoleh dari limbah sekam padi.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana modifikasi magnetit (Fe_3O_4) untuk *biochar* dari sekam padi?
2. Bagaimana sifat/karakter *biochar/Fe₃O₄* dari sekam padi?
3. Bagaimana efektivitas *biochar/Fe₃O₄* sekam padi sebagai adsorben dalam mengadsorp ion logam tembaga (Cu^{2+})?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui proses sintesis *biochar* dari sekam padi dan hasil modifikasi magnetit (Fe_3O_4) pada *biochar* dari sekam padi.
2. Mengetahui sifat/karakter *biochar/Fe₃O₄* dari sekam padi.
3. Mengetahui efektivitas *biochar/Fe₃O₄* sekam padi sebagai adsorben dalam mengadsorp ion logam tembaga (Cu^{2+}).

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah sekam padi sebagai adsorben untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang mengandung ion logam tembaga (Cu^{2+}).
2. Memberikan pengetahuan tentang model adsorpsi pada ion logam tembaga (Cu^{2+}) oleh *biochar/Fe₃O₄*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Biochar* dari Sekam Padi

Biochar merupakan suatu material padat yang mengandung banyak karbon, serta pembuatannya dari bahan organik atau biomassa yang dibakar dengan sedikit ataupun tanpa oksigen (pirolisis) (Fraser, 2010). *Biochar* dapat diproduksi dari bahan yang banyak terkandung lignin selulosa dari limbah tanaman seperti jerami padi, sekam padi, ataupun tandan kosong kelapa sawit dan limbah padat sagu. Metode yang digunakan dalam produksi dan sumber material yang digunakan sangat menentukan kualitas *biochar* (Sasmita dkk., 2021). *Biochar* merupakan produk sampingan dari limbah biomassa. Sifat *biochar* dipengaruhi dari jenis biomassa dan proses pirolisis yang dilakukan, setiap biomassa memiliki senyawa kimia yang berbeda akibat dari proses fotosintesis yang dihasilkan dari tumbuhan dalam menghasilkan energi (Prasetiyo dkk., 2020).

Menurut Safitri (2018), *biochar* disintesis dari bahan-bahan organik yang sukar terdekomposisi, yang dibakar dengan tidak sempurna atau tanpa oksigen pirolisis menggunakan temperatur yang tinggi. Arang hayati yang terbentuk dari pembakaran akan menghasilkan karbon aktif yang mengandung mineral seperti magnesium (Mg) atau kalsium (Ca) dan karbon anorganik. Kualitas dari senyawa organik yang terkandung dalam *biochar* tergantung pada asal bahan organik dan metode karbonisasinya. Berdasarkan kandungan senyawa organik dan anorganik yang terdapat di dalamnya, *biochar* banyak digunakan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi.

Proses termo-kimia yang digunakan dalam memproduksi *biochar* dilakukan pada kisaran suhu dari 250-700 °C. Berdasarkan meta-analisis menggunakan dua puluh tujuh artikel mengungkapkan bahwa temperatur pirolisis merupakan faktor yang berkontribusi besar terhadap tujuan pemanfaatan *biochar* (Baidoo dkk., 2016). Namun berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Puspita (2021) menunjukkan bahwa variasi temperatur pembakaran pirolisis dan bahan baku (*feedstock*) *biochar* mempengaruhi terhadap karakteristik *biochar*. Pada proses pembuatan *biochar*

dengan bahan baku padi tidak disarankan menggunakan temperatur pembakaran 400 °C dan 800 °C selama 4 jam. Hal ini karena hasilnya akan mempunyai kadar abu yang cukup tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah oleh Halim (2021) yang dilakukan dengan menggunakan karbon aktif dari sekam padi sebagai adsorben untuk menyerap logam berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) dapat disimpulkan bahwa adsorpsi optimum ion logam Cu dan Pb pada air limbah diperoleh pada massa adsorben 2 g waktu pengadukan 180 menit dengan efisiensi penyerapan masing-masing 98,63% dan 99,39% dan kapasitas adsorpsinya, yaitu 0,3205 mg/g dan 0,1377 mg/g.

2.2. Pemanfaatan *Biochar* sebagai Adsorben Logam Cu

Logam tembaga (Cu) merupakan salah satu jenis logam berat yang keberadaannya dapat merusak sistem fisiologi makhluk hidup dan lingkungan jika keberadaannya melewati batas yang telah ditetapkan. Hal tersebut disebabkan karena sifat toksisitasnya. logam berat termasuk material yang tidak mudah terdegradasi dan bersifat racun bagi makhluk hidup (Zakaria, 2011).

Menurut WHO, batasan maksimum logam Cu kurang dari 1,3 mg/dm³, sedangkan batasan maksimum keberadaan logam Cu dalam air minum sebesar 0,5 mg/dm³. Resiko yang muncul jika terdapat jumlah tembaga yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan kerusakan fungsi saraf pusat, sistem kardiovaskular dan gastrointestinal, paru-paru, ginjal, hati, kelenjar endokrin, dan tulang (Lakherwal, 2014). Karena efek logam Cu yang cukup membahayakan bagi manusia, maka diperlukan suatu penanganan agar logam Cu tidak mencemari lingkungan perairan. Salah satu metode penanganannya adalah dengan cara mengadsorpsi menggunakan *biochar*.

Biochar merupakan suatu bahan berupa karbon amorf, sebagian besar *biochar* terdiri dari atom karbon bebas yang memiliki permukaan dalam, sehingga *biochar* mempunyai kemampuan daya serap yang baik. Bahan ini mampu mengadsorpsi kation, anion dan molekul dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik, baik berupa larutan maupun gas. *Biochar* dapat dibedakan dari karbon

berdasarkan sifat pada permukaannya. Permukaan pada karbon ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang dapat menghambat keaktifannya, sedangkan pada *biochar* permukaannya relatif telah bebas dari deposit sehingga mampu mengabsorpsi karena pori-porinya telah terbuka dan permukaannya yang luas (Laos dkk., 2016).

Menurut Astuti dkk. (2018) menyatakan bahwa adsorpsi adalah proses pemisahan dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat pada yang menyerap (adsorben). Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Adsorben pada umumnya merupakan bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori dalam partikel.

Beberapa penelitian tentang pemanfaatan *biochar* sebagai adsorben telah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian Rahmawati dkk. (2013), adsorpsi *biochar* sabut siwalan terhadap ion Pb^{2+} menunjukkan kenaikan yang relatif besar pada waktu interaksi antara 0 menit hingga 150 menit, setelah diatas 150 menit sedikit mengalami penurunan karena desorpsi. Pada waktu interaksi optimum terjadi pada menit ke-150, yang menunjukkan banyaknya ion Pb^{2+} teradsorpsi per gram adsorben *biochar* sabut siwalan dengan nilai Q sebesar 2096,226 $\mu\text{g/g}$.

Penelitian Syauqiah (2011), menunjukkan bahwa adsorpsi dengan adsorben *biochar* terjadi penurunan kadar Fe terbesar terlihat pada waktu aduk 60 menit di mana parameter Fe yang terkandung dalam sampel adalah 0,24 ppm. Hal ini diketahui bahwa semakin lama waktu kontak yang digunakan semakin meningkat penurunan kadar Fe karena proses penyerapan adsorbat lebih baik.

2.3. Biochar Termodifikasi Besi oksida

Oksida besi termasuk salah satu mineral dalam tanah. Mineral-mineral oksida besi bersifat amfoter dan memiliki daya serap yang tinggi (Notodarmojo, 2005). Oksida besi memiliki empat fase yaitu magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-}Fe_2O_3$), magemit ($\gamma\text{-}Fe_2O_3$), dan geotit ($FeO(OH)$). Hanya magnetit dan magemit yang bersifat magnet (Gong dkk., 2009). Magnetit (Fe_3O_4) dapat dihasilkan dari endapan campuran $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dalam suasana basa (Dung dkk., 2009).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Fisli dkk. (2018) dilakukan modifikasi *biochar* dari limbah kertas menggunakan besi oksida. Dimana penelitian dilakukan dengan membakar limbah kertas dan direndam dalam asam kuat untuk menjadi *biochar* yang kemudian dilakukan pencampuran dengan larutan $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (rasio mol 2 : 1) untuk membuat komposit Fe_3O_4 . Dari hasil penelitian yang dilakukan komposit *biochar*/ Fe_3O_4 memiliki kadar penyerapan/ sebagai adsorben yang lebih baik.

Penelitian lain dilakukan oleh Badi dkk. (2018) yang melakukan modifikasi besi oksida dengan karbon aktif untuk menghilangkan ceftriaxone (antibiotik yang digunakan dalam bidang farmasi, pertanian dan kedokteran hewan) dari lingkungan perairan dengan metode presipitasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh bahwa hasil komposit dapat menyerap ceftriaxone hingga 97,18% dengan waktu kontak selama 90 menit dan dosis adsorben 1,99 g/L.

BAB III

DASAR TEORI

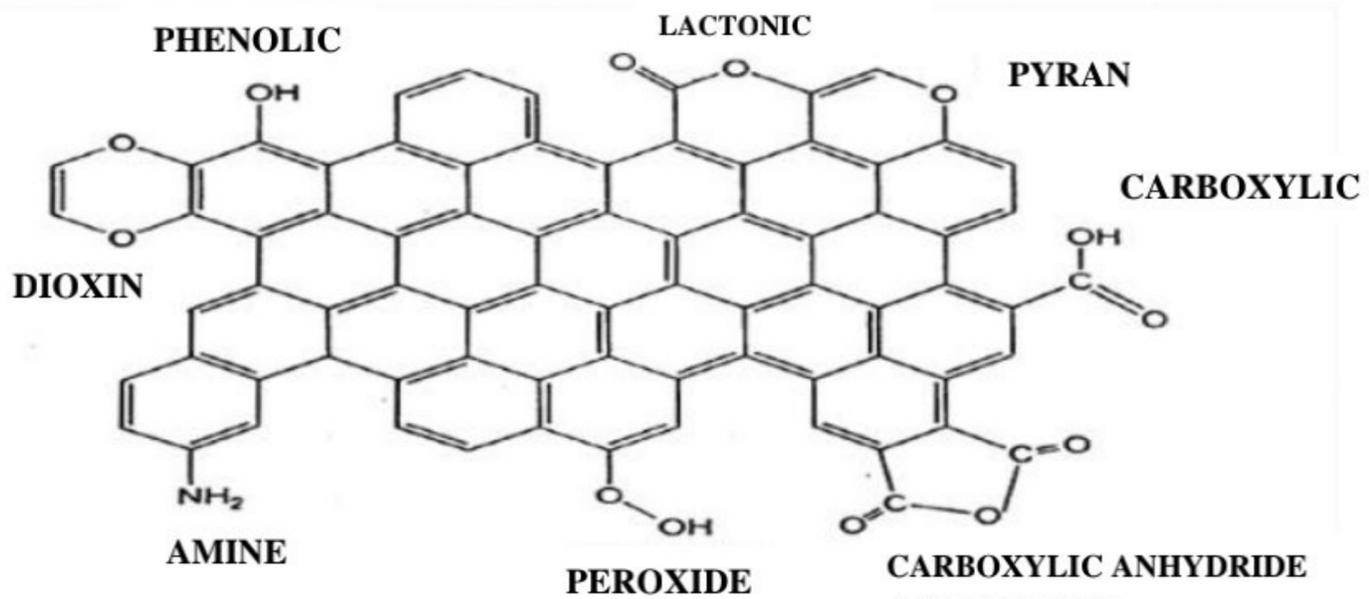
3.1. Biochar

Biochar (*bio-charcoal*) adalah adsorben seperti karbon aktif (Zhang dkk., 2018). *Biochar* merupakan karbon hitam pirogenik yang dibentuk dari proses degradasi termal (mis., pirolisis) menggunakan bahan bio-organik pada suhu rendah (< 700 °C) dalam kondisi anoksik atau terbatas oksigen. Bahan baku utama *biochar* adalah biomassa, dimana bahan tersebut tidak hanya menguntungkan dalam pemanfaatan sumber daya limbah tetapi juga efektif untuk mengurangi kerusakan lingkungan. *Biochar* dapat dibuat menggunakan metode pirolisis, hidrotermal, gasifikasi, dan lain sebagainya. Faktor yang dapat mempengaruhi kerja *biochar* adalah perbedaan bahan bio-organik, suhu pirolisis, dan metode modifikasi (Deng dkk., 2017; Patra dkk., 2017).

Biochar yang memiliki luas permukaan tinggi dan volume pori memiliki afinitas yang lebih besar terhadap logam karena ion logam dapat secara fisik diserap ke permukaan arang dan dipertahankan di dalam pori-pori. Banyak permukaan *biochar* yang bermuatan negatif sehingga mampu menyerap limbah yang bermuatan positif melalui atraksi elektrostatik, ligan Spesifisitas dan berbagai gugus fungsi pada *biochar* juga dapat berinteraksi dengan berbagai limbah dengan membentuk kompleksitas atau pengendapan fase mineral padat. Dibandingkan dengan karbon aktif, *biochar* merupakan adsorben potensial berbiaya rendah dan efektif. Produksi karbon aktif membutuhkan suhu lebih tinggi dan proses aktivasi tambahan. Pada akhirnya, produksi *biochar* lebih murah dengan kebutuhan energi yang lebih rendah (Patra dkk., 2017).

Biochar merupakan suatu substansi yang berasal dari arang kayu berpori (porous), yang sering disebut charcoal atau agrichar. Hal ini karena *biochar* berasal dari makhluk hidup dan sering juga disebut sebagai arang hayati. Dalam proses produksi *biochar* dapat dihasilkan dari limbah pertanian atau kehutanan, potongan kayu, tempurung kelapa, tandan kelapa sawit, tongkol jagung, sekam padi, dan bahan organik lainnya. Secara teoritis, dalam *biochar* tersimpan hingga 50% karbon

bahan baku dalam bentuk arang kayu berpori. Bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan *biochar* mempengaruhi sifat *biochar* itu sendiri (Anischan, 2009).



Gambar 1. Struktur Biochar (Jamieson, 2014).

Biochar telah menarik banyak perhatian karena kapasitas adsorpsi yang sangat baik untuk logam berat dan polutan organik dalam larutan air. Namun, selanjutnya pemisahan *biochar* bubuk dari media berair biasanya membutuhkan langkah-langkah sentrifugasi dan filtrasi, yang membatasi aplikasi *biochar* dalam skala besar pengolahan air limbah. Selain itu, desorpsi polutan yang teradsorpsi pada *biochar* mengarah pada polusi sekunder. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengatasi kekurangan *biochar* agar meningkatkan kegunaannya dalam remediasi polusi air (Yi dkk., 2019).

Gugus fungsional pada permukaan *biochar* memainkan peran penting dalam adsorpsi polutan, dan pemahaman tentang sifat untuk meningkatkan fungsionalisasi permukaan *biochar* dalam mengoptimalkan kinerja adsorpsi. Teknik paling umum yang biasa dipakai adalah FTIR, digunakan untuk menganalisis secara kualitatif kelompok fungsional pada permukaan *biochar*. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa *biochar* biasanya memberikan vibrasi stretching O-H adalah dekat 3400 cm^{-1} , dan gugus fungsi CH, CH₂ dan CH₃ berada di 2959 cm^{-1} , 2925 cm^{-1} , dan 2854 cm^{-1} . Demikian pula, puncak getaran ikatan C=O diamati pada 1735 cm^{-1} (Zhang dkk., 2018). Sedangkan serapan vibrasi ikatan Fe-O terdeteksi pada 580 cm^{-1} , yang menandakan adanya zat besi oksida dan dengan demikian secara

tidak langsung mengkonfirmasi keberhasilan sintesis *biochar/Fe₃O₄* (Yi dkk., 2019).

Luas permukaan spesifik adalah indeks penting untuk mengukur kualitas adsorben. Luas permukaan spesifik *biochar* berkaitan erat dengan porositasnya, dan sering berbeda sesuai dengan sifat spesies magnetik yang ada. Menurut literatur, luas permukaan spesifik *biochar/Fe₃O₄* adalah 1,80~2579 m²/g, dimana nilai ini juga dipengaruhi oleh metode sintesis dan bahan baku (Yi dkk., 2019). *biochar/Fe₃O₄* dapat diaplikasi secara luas sebagai adsorben dalam pengolahan air limbah seperti untuk penghapusan kontaminan cadmium, arsenik, timah, metilen biru, dan fosfat. Selain itu, *biochar/Fe₃O₄* juga dapat digunakan sebagai elektroda untuk superkapasitor. Sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitas dan konduktivitas listrik (Thines dkk., 2017).

3.2. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pemisahan, dimana molekul cenderung berkonsentrasi pada permukaan adsorben sebagai hasil dari gaya Van der Waals yang ada diantara molekul-molekul. Pada proses adsorpsi, suatu molekul atau ion (adsorbat) mengadsorpsi suatu gas atau larutan *bulk sticks* pada permukaan benda padat sehingga disebut sebagai adsorben. Hal ini menandakan bahwa adsorbat merupakan zat yang berkonsentrasi pada permukaan material, sedangkan adsorben merupakan bahan yang permukaannya diadsorpsi. Pada proses adsorpsi, hanya permukaan adsorben yang terlibat dan adsorbat tidak berdifusi ke dalam struktur adsorben (disebut sebagai proses penyerapan). Kemampuan adsorpsi dapat meningkat ketika berat molekul senyawa tinggi, jumlah gugus fungsi seperti ikatan rangkap atau senyawa halogen tinggi, dan kepolaran molekul tinggi (Artioli, 2008; Gawande dkk., 2017).

Adsorpsi dikategorikan sebagai metode yang efisien dalam menghadapi masalah kontaminasi limbah cair domestik maupun industri, karena kemampuannya dalam menghilangkan bau dan menurunkan kadar zat warna dari suatu larutan tanpa mengubahnya menjadi senyawa yang lebih berbahaya. Penggunaan adsorben dalam proses adsorpsi memiliki beberapa keuntungan

diantaranya adalah memiliki pori yang luas, hidrofobik, stabil dalam temperatur tinggi, tidak memiliki aktivitas katalitik dan mudah diregenerasi. Berikut ini adsorben dapat dikategorikan ke dalam tiga kelas (Gawande dkk., 2017):

1. Senyawa yang mengandung oksigen biasanya hidrofilik dan polar, seperti silika gel dan zeolit.
2. Senyawa berbasis karbon biasanya nonpolar (hidrofobik), seperti karbon aktif dan grafit.
3. Senyawa berbasis polimer merupakan senyawa yang memiliki gugus fungsi polar/ nonpolar dalam matriks polimer berpori.

Proses adsorpsi terjadi ketika molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat sifat kimia dan fisika. Proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, suhu, dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi tiga tahap yaitu :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori.

Berdasarkan dari kekuatan dalam berinteraksi, adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu adsorpsi fisika dan kimia (Bansal, 2005):

1. Adsorpsi fisika

Terjadi karena pengaruh gaya Van der Waals yaitu gaya tarik menarik antar molekul yang lemah. Hal ini yang menyebabkan adsorbat dapat bergerak bebas di permukaan adsorben. Gaya antar molekul sendiri merupakan gaya tarik antar molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya intermolekular adalah gaya tarik antar molekulmolekul fluida itu sendiri.

2. Adsorpsi kimia

Terjadi karena adanya reaksi kimia akibat pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Ikatan

yang terbentuk antara adsorbat dengan adsorben adalah ikatan kimia dan ikatan itu lebih kuat daripada adsorpsi fisika.

Berikut ini merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi dalam sistem *batch* (Asip dkk., 2008):

1. Proses pengadukan

Ketika proses pengadukan cenderung lambat maka adsorban sukar menebus lapisan layar antara permukaan adsorben dengan film difusi yang merupakan faktor pembatas yang memperkecil kecepatan penyerapan. Apabila pengadukan sesuai maka meningkatkan film difusi sampai titik pori difusi yang merupakan faktor pembatas dalam sistem batch dilakukan pengadukan yang tinggi.

2. Karakteristik adsorban

Sifat permukaan mempengaruhi dalam proses adsorpsi yaitu energy permukaan dan gaya tarik permukaan. Oleh sebab itu sifat fisik dari adsorben yang digunakan berperan penting dalam proses adsorpsi seperti ukuran partikel dan luas permukaan.

3. Kelarutan adsorban

Molekul-molekul yang ada dalam larutan harus dapat berpisah dari cairannya. Selain itu, dapat berikatan dengan permukaan adsorben saat proses adsorpsi berlangsung. Sifat unsur yang terlarut mempunyai gaya tarik-menarik terhadap cairannya yang lebih kuat bila dibandingkan dengan unsur yang sukar larut. Dengan demikian unsur yang terlarut akan lebih sulit terserap pada adsorben bila dibandingkan dengan unsur yang tidak larut.

3.1. Aktivasi

Salah satu bagian penting dari pembuatan *biochar* yaitu aktivasi. Proses aktivasi *biochar* sangat berpengaruh pada hasil akhir *biochar* yang diperoleh. Aktivasi dilakukan terhadap *biochar* agar dapat memperbesar pori dengan cara memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga *biochar* akan mengalami perubahan sifat kimia maupun fisika (Sembiring, 2003). Perubahan yang terjadi yaitu bertambahnya luas permukaan dan

meningkatkan daya adsorpsi. Peningkatan daya adsorpsi disebabkan karena *biochar* hasil karbonisasi kemungkinan masih mengandung zat yang menutupi permukaan pori (Budiono, 2005). Jadi, jelas bahwa aktivasi dengan uap panas tidak hanya memindahkan material yang tidak dikelola tetapi juga cukup efektif dalam membentuk dan melebarkan mikropori dengan naiknya suhu (Bansode dkk., 2003).

Aktivasi adsorben dapat dilakukan dengan aktivasi fisika maupun kimia. Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO₂ (Sembiring, 2003). Metode aktivasi secara fisika antara lain dengan menggunakan uap air, gas karbon dioksida, oksigen, dan nitrogen. Gas-gas tersebut berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya, menghilangkan konstituen yang mudah menguap dan membuang produksi tar atau hidrokarbon-hidrokarbon pengotor yang ada pada adsorben. Kenaikan temperatur aktivasi pada kisaran 450-700 °C dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari adsorben (Raharjo, 1997).

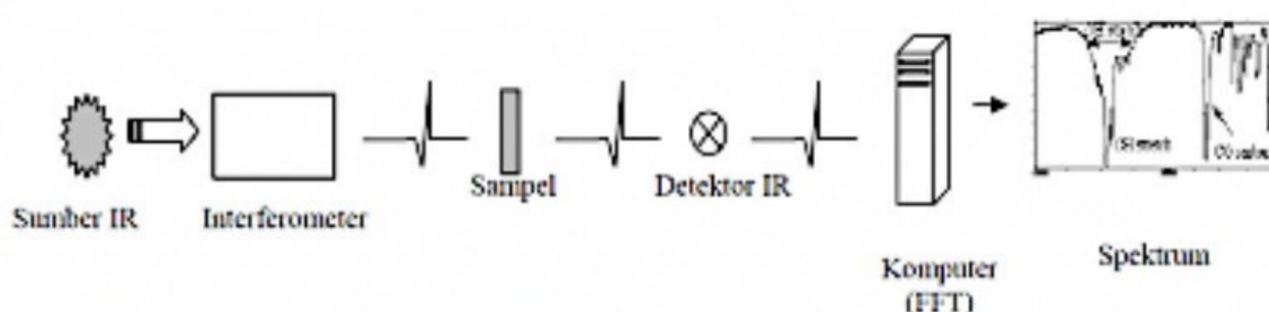
Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Sembiring, 2003). Aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan-bahan pengaktif seperti garam kalsium klorida (CaCl₂), magnesium klorida (MgCl₂), seng klorida (ZnCl₂), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na₂CO₃) dan natrium klorida (NaCl). Bahan-bahan pengaktif tersebut berfungsi untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi (Manocha, 2003).

3.2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Spektroskopi IR merupakan metode yang paling umum digunakan untuk identifikasi dan analisis struktur senyawa kimia. Ini merupakan kelompok fungsional yang beragam dalam menyerap radiasi IR pada berbagai frekuensi. Oleh karena itu, spektroskopi IR dapat menyimpulkan ada atau tidaknya kelompok

fungsional tertentu dalam suatu molekul. Keuntungan menggunakan metode ini yaitu tidak merusak sampel dan dapat digunakan untuk sampel dalam bentuk gas, cair, atau padat. IR dapat dibagi menjadi tiga bagian kawasan spektral yaitu: dekat memanjang 800-2.500 nm (NIR), tengah 2.500-15.000 nm (MIR), dan jauh 15.000-100.000 nm (FIR) (Omididkk., 2017).

Spektroskopi inframerah dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa organik. Hal ini karena spektrumnya sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Selain itu pada kelompok fungsional juga dapat menyerap sinar inframerah pada frekuensi yang unik (Sulistiyani, 2017).



Gambar 2. Proses Perubahan Sinyal Spektroskopi FTIR (Suseno, 2008).

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara materi berupa molekul senyawa kompleks dengan energi berupa sinar infrared mengakibatkan molekul-molekul bervibrasi dimana besarnya energi vibrasi tiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkan sehingga akan menghasilkan frekuensi yang berbeda. Adanya perbedaan tingkat energi vibrasi dalam analisis FTIR dapat mengidentifikasi keberadaan komponen atau gugus fungsi dalam molekul (Bijang dkk., 2018).

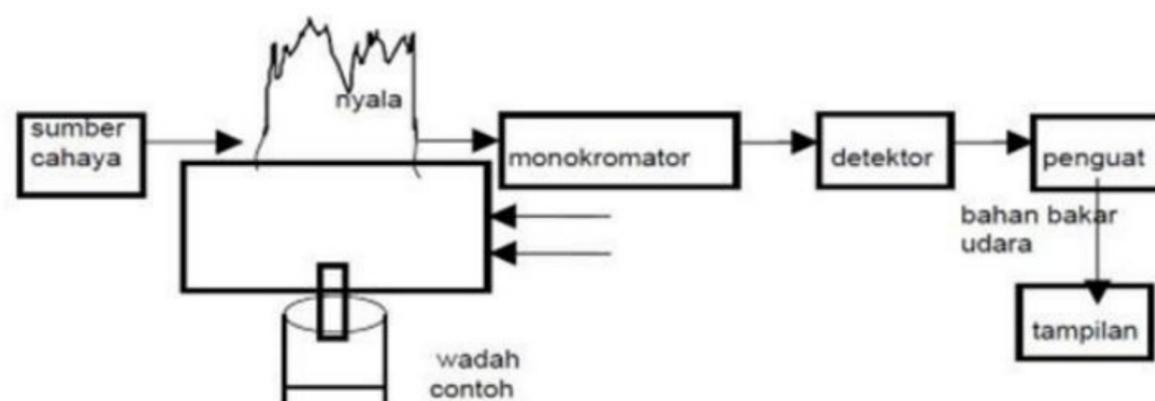
3.3. X-ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X merupakan metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah system kristal. Untuk dapat memahami prinsip dari difraksi sinar-X dalam analisa kualitatif maupun kuantitatif, terlebih dahulu diuraikan penjelasan mengenai sistem kristal (Muzakir, 2012).

Menurut Mukti (2012), XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua

bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf.

Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Å. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai 2,5 Å. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merumuskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi (Sari dkk., 2017).

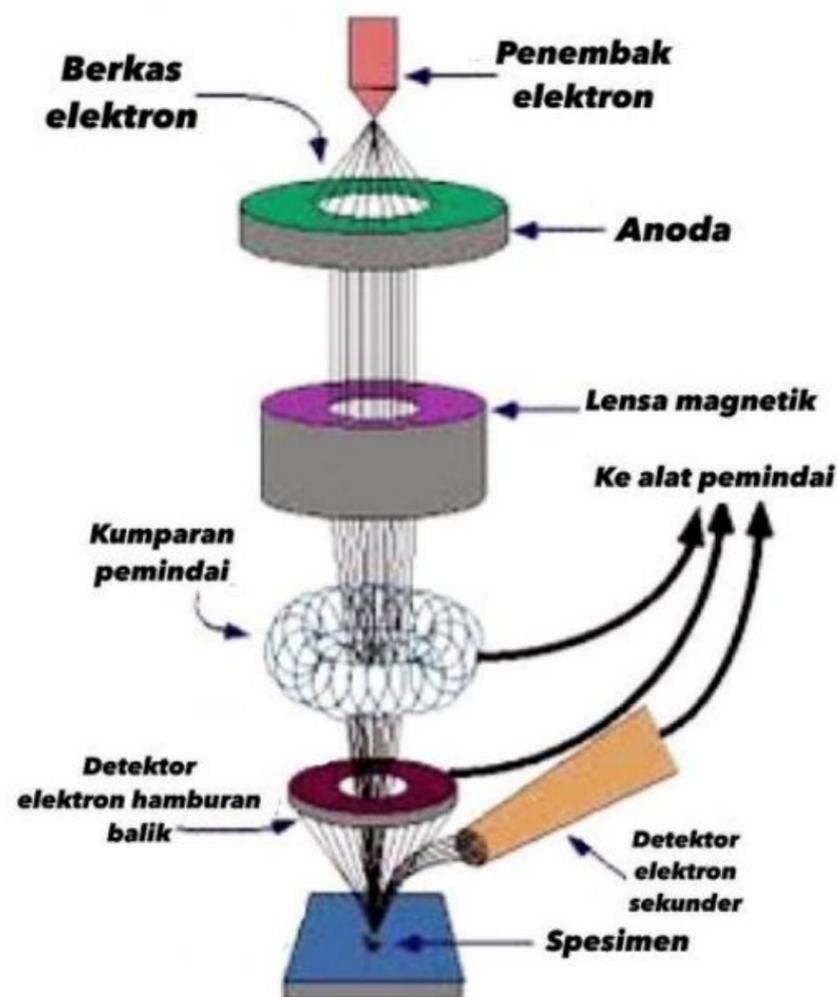


Gambar 3. Skema Instrumen XRD (Sharma, 2013).

3.4. Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. 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. Elektron berinteraksi dengan

atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. Prinsip kerja SEM adalah sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel, lalu sinar elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT) (Wijayanto, 2014).



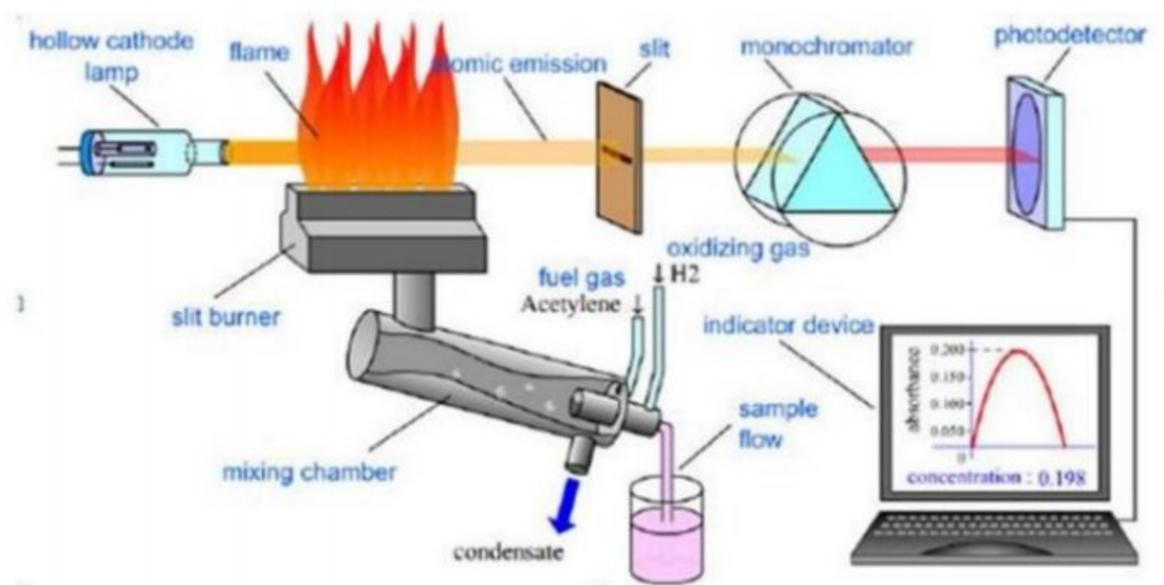
Gambar 4. Skema SEM-EDX (Mohammed, 2016)

Perangkat EDX yang terintegrasi dengan SEM memungkinkan dilakukannya mikroanalisis secara kualitatif dan semi kuantitatif untuk unsur-unsur mulai dari Litium (Li) sampai Uranium (U) (Setyaningsih, 2017). EDX dihasilkan dari sinar-X karakteristik, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Perangkat lunak (*software*) akan secara otomatis mengidentifikasi jenis unsur/elemen yang terkandung pada sampel yang dikenal dengan elemen

identification. EDX bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase kandungan masing–masing elemen (Cahyana, 2014).

3.5. Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom yang berada pada tingkat tenaga dasar (*ground state*). Penyerapan energi akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari dalam kulit atom hingga ke tingkat yang lebih tinggi (*excited state*). Ketika terjadinya pengurangan intensitas radiasi akan sebanding dengan jumlah atom yang menyerap energi radiasi tersebut pada tingkat tenaga dasar. Intensitas radiasi yang diteruskan (transmitansi) atau mengukur intensitas radiasi yang diserap (absorbansi), dapat diukur sehingga konsentrasi unsur dalam cuplikan dapat ditentukan (Gunandjar, 1985).



Gambar 5. Prinsip kerja spektrofotometri serapan atom (Dewi dkk., 2021)

Prinsip kerja dari *Atomic Absorption Spectrophotometry* didasarkan pada penguapan yang terjadi pada larutan sampel, logam yang ada di dalam sampel kemudian diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut akan mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda (*hollow cathode lamp*) yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya (Dewi dkk., 2020).

BAB IV

METODELOGI PENELITIAN

4.1. Alat dan Bahan Penelitian

4.1.1. Alat

Alat-alat yang digunakan antara lain peralatan gelas beker 50 mL; 100 mL; 250 mL (pyrex), erlenmeyer 125 mL; 250 mL (pyrex), kaca arloji, pipet tetes, pipet ukur 1 mL; 10 mL (iwaki), corong kaca, pengaduk kaca, sendok sungsung, sendok besi, labu ukur 25mL; 100 mL (pyrex), gelas takar 25 mL (iwaki), cawan porselen, mortar alu, saringan mesh ukuran 150, botol semprot, pH meter digital (Intell Instruments Pro), neraca analitik (ohaus dan fujitsu), ball pipet, stirer dan magnetik stirer, penjepit kayu, peralatan tulis, magnet eksternal, desikator, oven (memmert), *furnace* (naberthem), *Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) (JEOL JSM 6510), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Thermo Nicolet Avatar 360), *X-Ray Diffraction* (XRD) (Bruker D2 Phaser), *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) (Perkin Elmer 5100 PC).

4.1.2 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi, plastic wrap, alumunium foil, kertas saring, label nama, akuades (H_2O), natrium Hidroksida ($NaOH$), etanol (C_2H_6O), seng klorida ($ZnCl_2$), besi (III) klorida heksahidrat ($FeCl_3.6H_2O$), besi (II) sulfat ($FeSO_4$), larutan buffer 4; 7; dan 10, pH universal, plastik ziplock, tembaga (II) sulfat pentahidrat ($CuSO_4.5H_2O$).

4.2. Cara Kerja

4.1.2. Preparasi *biochar* dari sekam padi

Sekam padi disiapkan dan dijemur di bawah sinar matahari langsung sampai kering. Sekam padi yang telah kering, ditimbang sebanyak 100 gram dan dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 300 °C dengan waktu 1 jam kemudian ditumbuk hingga halus menjadi bubuk.

4.1.3. Aktivasi *biochar*

Biochar yang telah halus, ditimbang sebanyak 20 gram dan direndam dalam larutan $ZnCl_2$ sebanyak 40 ml diaduk dalam magnetic stirrer hingga homogen lalu didiamkan selama 24 jam. *Biochar* netralkan menggunakan aquades hingga mencapai pH netral kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven selama 2 jam dengan suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$. *Biochar* yang telah kering dimasukkan kedalam desikator untuk proses pendinginan *biochar*.

4.1.4. Sintesis magnetik *biochar*/ Fe_3O_4 variasi pH 10 dan pH 12

Sebanyak 0,5 gram *biochar* ditambahkan dengan aquades 100 mL distirer dalam gelas beker selama 10 menit pada temperatur 'suhu ruang setelah itu ditambahkan dengan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sebanyak 1,081 gram dan $FeSO_4$ 0,794 gram. Kemudian campuran distirer selama 15 menit pada temperatur ruang, kemudian ditambahkan larutan NaOH 10 M secara tetes demi tetes hingga pH 10 dan pH 12. Setelah tercapai masing-masing pH kemudian dilakukan proses stirer selama 15 menit. Campuran dipisahkan dari filtrat dengan cara disaring dan padatan dicuci dengan akuades dan etanol sebanyak 2 kali. Komposit dikeringkan pada suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ sampai kering dan ditimbang rendemen total. Setelah itu dilakukan karakterisasi dengan FTIR, XRD, dan VSM.

4.1.5. Proses adsorpsi

Biochar sebanyak 0,08 gram dimasukkan dalam erlenmeyer dan ditambahkan 25 ml larutan $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dengan konsentrasi 100 mg/L. Selanjutnya larutan diaduk selama 30, 60, 90 dan 120 menit dalam suhu ruang. Larutan disaring dan diambil filtratnya untuk diukur absorbansinya menggunakan AAS.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sintesis *biochar* dari sekam padi dan juga mengetahui efektivitas *biochar* sekam pada untuk mengadsorpsi logam tembaga. Menurut Setyaningtyas dkk. (2007), adsorpsi dikategorikan sebagai metode yang efisien dalam menghadapi masalah kontaminasi limbah cair domestik maupun industri, karena kemampuannya dalam menghilangkan bau dan menurunkan kadar zat warna dari suatu larutan tanpa mengubahnya menjadi senyawa yang lebih berbahaya. Adsorpsi bisa dilakukan dengan menggunakan adsorben *biochar*. *Biochar* memiliki kemampuan penyisihan polutan yang tinggi namun juga memiliki kekurangan yaitu sulit dipisahkan dari air karena ukuran partikelnya yang kecil. Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi *biochar* untuk pemisahan adsorben dari air maka dilakukan modifikasi *biochar* dengan sifat magnet. Modifikasi *biochar* dengan magnetik (Fe_3O_4) akan membuat *biochar* memiliki sifat magnetik, sehingga dalam proses pemisahan nantinya dapat dilakukan dengan sederhana.

Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu sintesis dan karakterisasi. Tahap karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dari *biochar*. Karakterisasi dalam penelitian ini menggunakan beberapa instrumen yaitu *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Kemudian untuk proses uji efektivitas adsorpsi menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

5.1. Preparasi *Biochar* dari Sekam Padi

Pada tahap ini, sampel sekam padi dilakukan preparasi dengan dijemur dibawah sinar matahari hingga kering. Kemudian dilakukan proses *furnace* pada temperatur 300 °C dengan durasi waktu selama 1 jam. Hal ini berguna untuk mengubah biomassa yaitu sekam padi menjadi *biochar*. Proses ini dinamakan pirolisis yaitu penguraian bahan organik pada temperatur tinggi tanpa adanya

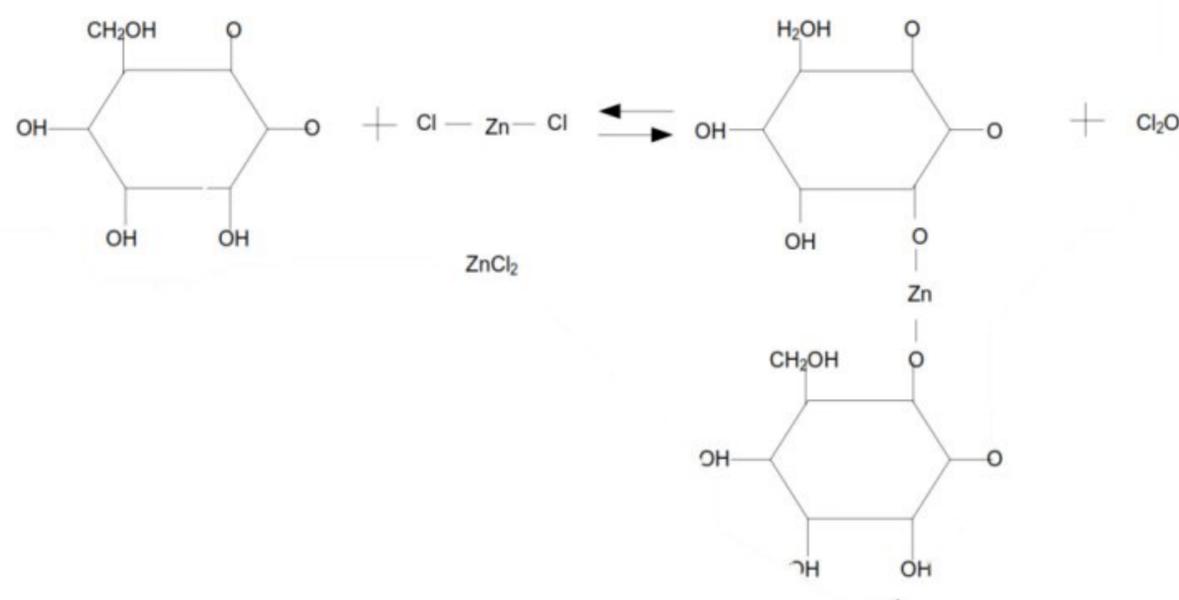
oksigen. Kemudian *biochar* yang diperoleh ditumbuk hingga halus untuk memperluas permukaan *biochar* sehingga memaksimalkan proses adsorpsi.



Gambar 6. Biochar Sekam Padi

5.2. Aktivasi *Biochar*

Proses aktivasi *biochar* dilakukan dengan cara sampel *biochar* yang diperoleh dari proses preparasi direndam dengan $ZnCl_2$ dan dilakukan stirrer hingga homogen. Larutan $ZnCl_2$ dalam proses ini berfungsi sebagai aktivator. Hal ini karena $ZnCl_2$ dapat memecah ikatan hidrokarbon, sehingga luas permukaan karbon menjadi lebih besar karena hidrokarbon yang menyumbat pori-pori terbebaskan (Danarto dkk., 2008).



Gambar 7. Mekanisme reaksi $ZnCl_2$ dalam menghasilkan pori *biochar* (Adinata, 2013)

Kemudian dilakukan perendaman selama 24 jam yang berfungsi untuk memaksimalkan proses aktivasi karena aktivator dapat mengaktifkan gugus-gugus yang terkandung secara merata dan juga untuk menghilangkan tar serta mineral anorganik.

Setelah perendaman, *biochar* dibilas dengan akuades hingga mencapai pH netral. Hal ini untuk menghilangkan ion Cl^- yang dapat mempengaruhi proses penyerapan dikarenakan dapat menutupi pori-pori *biochar*. Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan antara residu dan filtrat. Residu yang diperoleh kemudian dikeringkan dengan oven selama 2 jam pada temperatur $110\text{ }^\circ\text{C}$ untuk menghilangkan kandungan air yang masih terdapat dalam *biochar*. Setelah selesai pengeringan, dimasukkan kedalam desikator untuk pendinginan tanpa penyerapan kontaminan di udara. Dari proses pengaktifasian diperoleh *biochar* teraktivasi sebanyak 18,4006 gram.

5.3. Sintesis Magnetik *Biochar/Fe₃O₄*

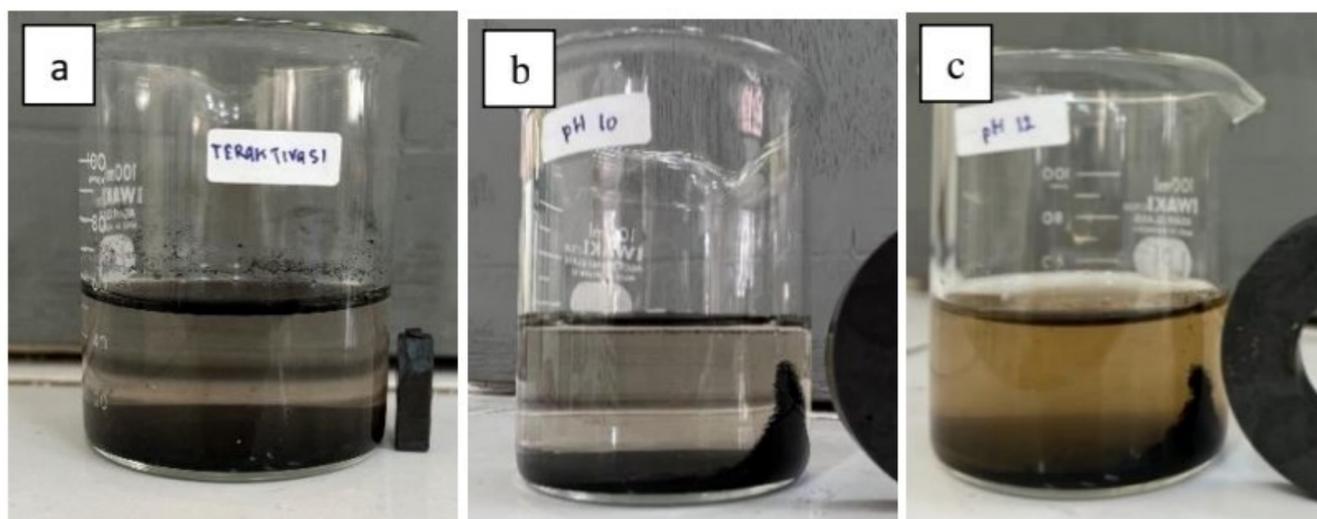
Proses sintesis magnetik *biochar/Fe₃O₄* diawali dengan impregnasi basah *biochar* dari yang diperoleh dari proses sebelumnya dengan material Fe_3O_4 . *Biochar* di impregnasi secara kimia menggunakan prekursor $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Prekusor tersebut dibutuhkan dalam pembentukan oksida besi fasa magnetit (Fe_3O_4) dengan mereaksikan larutan yang mengandung ion Fe^{3+} dan Fe^{2+} . Reaksi oksidasi yang terjadi akan membentuk Fe_2O_3 dan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (Agnestisia, 2017). Kedua bahan tersebut memiliki sifat feromagnetik yang sudah banyak digunakan dalam berbagai penelitian sebagai adsorben logam berat.

Proses modifikasi ini dilakukan karena berfungsi untuk melapisi permukaan *biochar* sehingga dapat mengikat logam Cu. Material yang akan disisipkan ialah material magnetit (Fe_3O_4). Material tersebut dipilih karena sifatnya yang dapat ditarik oleh benda yang bersifat magnet juga sehingga dapat mempermudah proses pemisahan adsorpsi. Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu jenis oksida besi yang ramah lingkungan sehingga dipilih sebagai aktivator yang mampu melapisi sisi aktif permukaan *biochar*.

5.3.1. Variasi pH

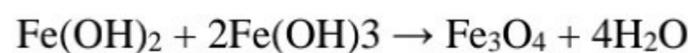
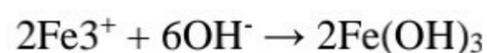
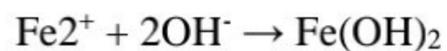
Pada tahap impregnasi basah, *biochar* yang dipakai adalah yang sudah diaktivasi dengan $ZnCl_2$ dimana *biochar* tersebut didapat dari proses sebelumnya. *Biochar* teraktivasi ditambahkan dengan akuades dan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Dalam pencampurannya dibantu dengan distirer dan penggunaan akuades berguna untuk mempermudah proses pencampuran. Kemudian larutan ditambahkan $NaOH$ 10 M sedikit demi sedikit sambil terus diaduk menggunakan stirrer. Ion-ion dalam Fe^{3+} dan Fe^{2+} akan mengalami proses kopresipitasi dengan penambahan basa $NaOH$ yang berfungsi untuk pembentukan $2Fe(OH)_3$ dan $Fe(OH)_2$ (Agnestisia, 2017). Penambahan $NaOH$ dilakukan sampai mencapai pH 10 dan pH 12 sehingga terbentuk 2 variasi sintesis. Apabila sudah tercapai pH tersebut dan didiamkan selama beberapa saat maka akan terjadi pemisahan.

Selanjutnya dilakukan penyaringan endapan dan pencucian menggunakan akuades untuk menghilangkan ion-ion sisa berupa kation dan anion terlarut. Proses pencucian dilakukan secara berulang hingga larutan endapan memiliki pH netral. Kemudian dibilas dengan etanol untuk mengikat sisa-sisa akuades yang terdapat dalam *biochar*. Endapan yang diperoleh kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam. Proses pengeringan dalam oven bertujuan untuk menghilangkan sisa kandungan etanol yang ada dalam *biochar* tersebut. *Biochar/Fe₃O₄* dengan variasi pH 10 dan pH 12 siap untuk digunakan dalam proses adsorpsi.



Gambar 8. Perbandingan pemisahan dengan magnet antara *biochar* teraktivasi (a), *biochar/Fe₃O₄/pH 10* (b), dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* (c)

Berdasarkan pengamatan visual yang terlihat pada Gambar 8. *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* terlihat mampu ditarik ataupun dipisahkan dengan magnet. Sedangkan *biochar* teraktivasi terlihat seperti di Gambar 8. Tidak mampu tertarik oleh magnet. Hal ini menunjukkan proses modifikasi untuk mempermudah pemisahan *biochar* berhasil. Endapan ini merupakan partikel magnetit yang terbukti dapat berinteraksi dengan medan magnet eksternal. Endapan (presipitat) berwarna hitam akan terbentuk dengan segera saat larutan hasil reaksi pertama dicampur dengan larutan basa dari NaOH. Sehingga reaksi pembentukan ini akan membentuk oksida besi fasa magnetit (Fe₃O₄).



5.4 Karakterisasi *Biochar*

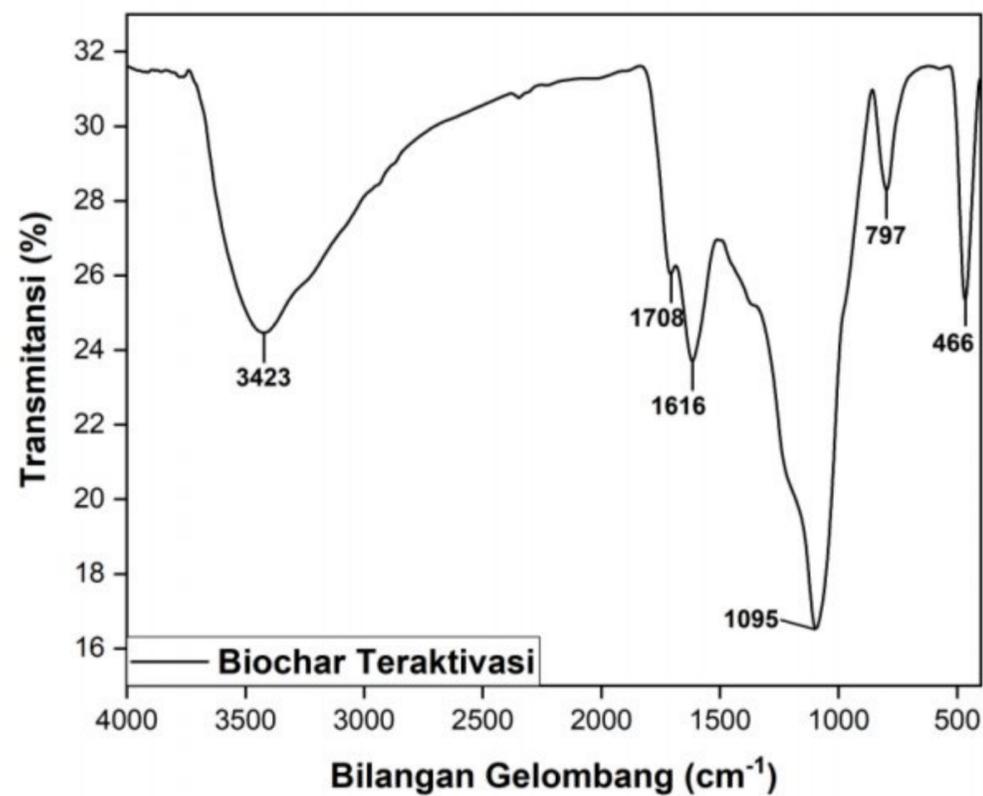
Karakterisasi dimaksudkan untuk mengetahui sifat dan struktur dari *biochar*. Proses karakterisasi dilakukan menggunakan beberapa instrumen kimia seperti: FTIR, XRD, dan SEM-EDX.

5.4.1 Analisis Gugus Fungsi Adsorben dengan FTIR

Karakterisasi dengan instrumen FTIR dilakukan untuk membandingkan antara gugus fungsi yang ada pada *biochar/pH 10* dengan *biochar/pH 12*. Suatu senyawa yang dianalisis dengan FTIR, maka terjadi adsorpsi inframerah (IR) oleh suatu molekul. Hal tersebut mengakibatkan energi radiasi menjadi tidak cukup kuat untuk mengeksitasi molekul sehingga hanya bisa menginduksi getaran atau vibrasi ikatan kovalen antar atom maupun dalam gugus fungsi. Pentingnya mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam *biochar* karena akan berkaitan dengan kemampuan adsorpsi dalam kondisi pH tertentu.

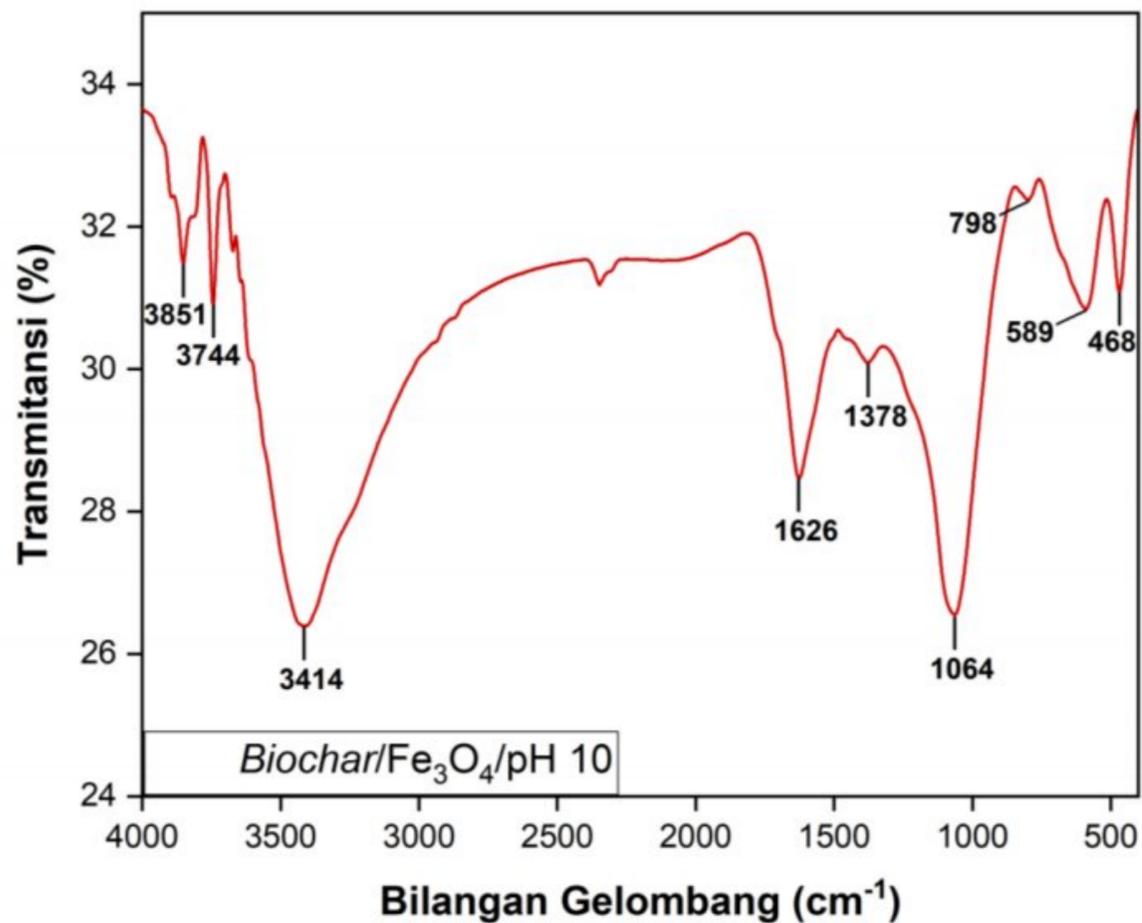
Pada proses ini, analisis menggunakan FTIR jenis KBr (kalium bromida), sehingga sebelum dianalisis dengan instrument, sampel terlebih dahulu dicampurkan dengan KBr untuk kemudian dijadikan pelet padat. Kalium bromida mempunyai fungsi sebagai matriks ataupun holder transparan secara optik.

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh spektrum mengenai gugus fungsi yang terkandung dalam *biochar* seperti yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 9. Spektra FTIR *biochar* teraktivasi

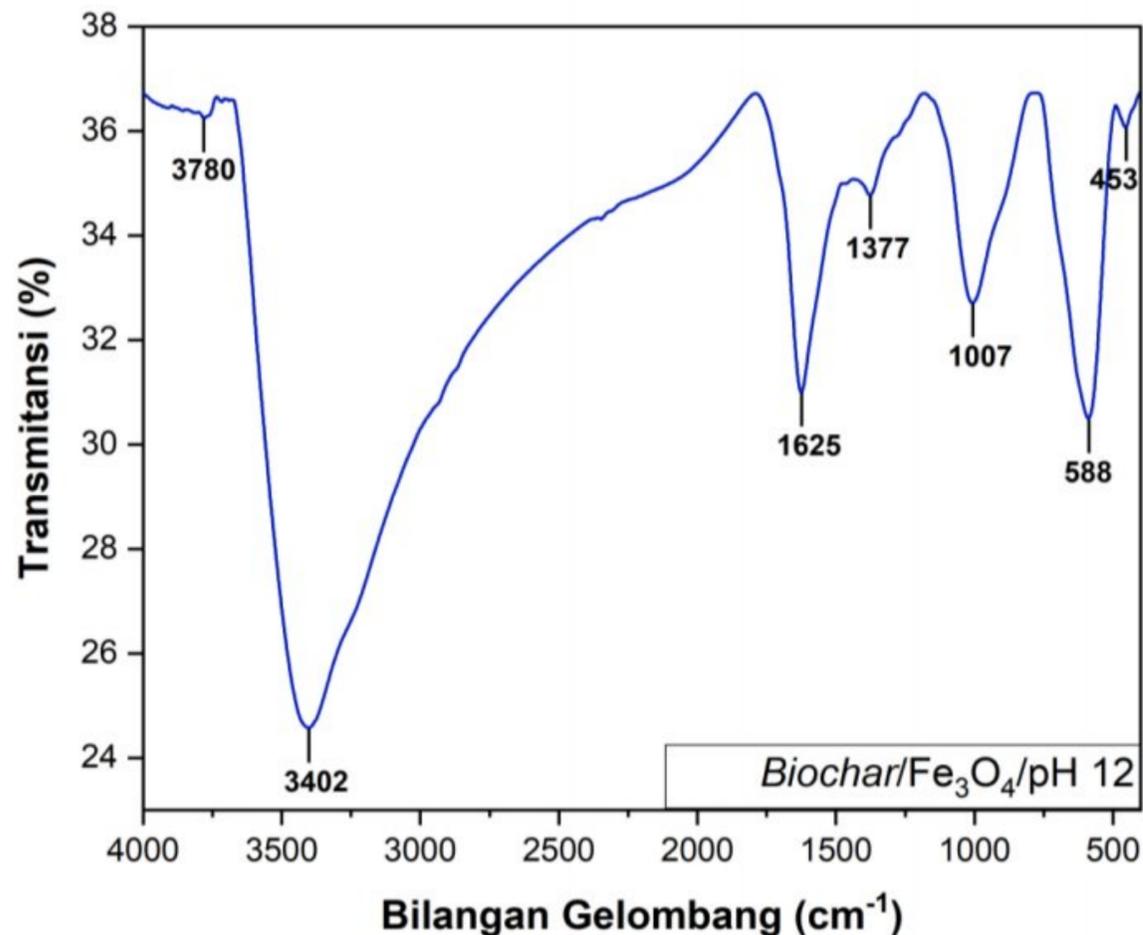
Pada Gambar 9. ditunjukkan spektra FTIR *biochar* teraktivasi. Serapan yang lebar pada gelombang 2300–3700 cm⁻¹ menunjukkan interpretasi gugus fungsi pada gelombang tertentu. Serapan pada 3000–3700 cm⁻¹ dengan puncak pada 3423 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi stretching dari gugus fungsi –OH yang terdiri dari asam karboksilat, fenol, alkohol, dan air. Puncak pada bilangan gelombang 1708 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi *stretching* C=O dari ester, aldehyd, dan keton. Serapan pada gelombang ini tumpang tindih dengan vibrasi stretching C=C yang ditunjukkan oleh puncak cincin aromatis dan rantai alkena pada bilangan gelombang 1616 cm⁻¹. Dalam area *fingerprint* (900-400 cm⁻¹) terdapat puncak pada bilangan gelombang 797 cm⁻¹ dan 466 cm⁻¹, masing-masing menunjukkan deformasi dari cincin plane aromatis dan gugus piranosa –CH. Puncak pada bilangan gelombang 1095 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi *stretching* C–O eter.



Gambar 10. Spektra FTIR *biochar/Fe₃O₄/pH 10*

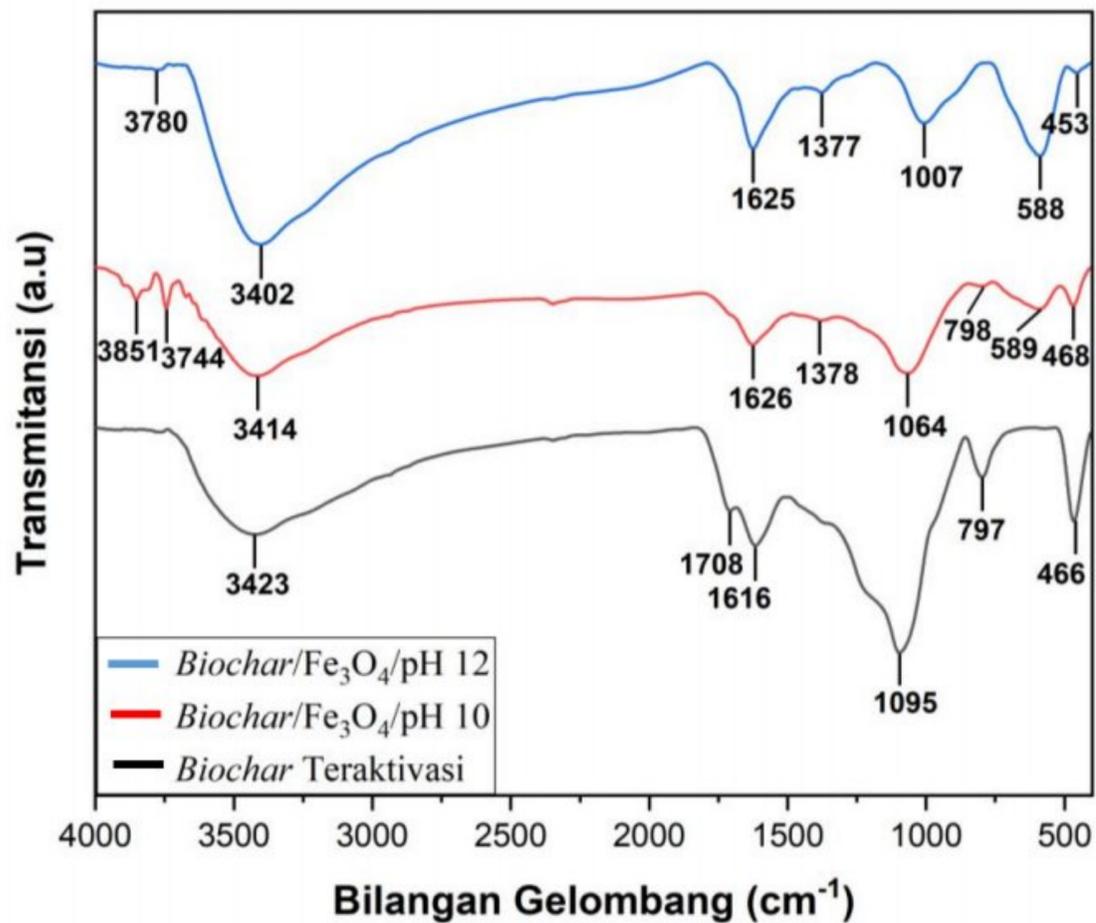
Berdasarkan spektra FTIR *biochar/Fe₃O₄/pH 10* seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Puncak pada bilangan gelombang 3414 cm^{-1} dengan serapan yang lebar pada bilangan gelombang 3000-3600 cm^{-1} menunjukkan vibrasi *stretching* dari gugus -OH dari alkohol, asam karboksilat dan fenol. Puncak pada bilangan gelombang 3744 cm^{-1} dan 3851 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus -OH bebas. Puncak pada bilangan gelombang 2347 cm^{-1} menunjukkan serapan dari CO_2 . Serapan pada bilangan gelombang 1500-1800 cm^{-1} dengan puncak pada bilangan gelombang 1626 cm^{-1} menunjukkan vibrasi *stretching* dari C=C dan C=O. Puncak ini didominasi oleh gugus C=C. Gugus C=O yang mulai berkurang disebabkan karena gugus karboksilat membentuk kompleks dengan kation besi (Philippou dkk., 2019). Puncak pada bilangan gelombang 1378 cm^{-1} menunjukkan vibrasi bending C-H. Puncak pada bilangan gelombang 1064 cm^{-1} menandakan adanya vibrasi *stretching* C-O dari eter. Deformasi *out of plane* gugus C-H dari cincin aromatis dan piranosa ditunjukkan pada bilangan gelombang 798 cm^{-1} dan 468 cm^{-1} . Puncak pada bilangan gelombang 589 cm^{-1} menunjukkan ikatan Fe-O.

Kemudian untuk spektra *biochar/Fe₃O₄/pH 12* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 11. Spektra FTIR *biochar/Fe₃O₄/pH 12*

Pada Gambar 11. ditunjukkan spektra FTIR *biochar/Fe₃O₄/pH 12*. Serapan pada bilangan gelombang 3000-3600 cm⁻¹ pada bilangan gelombang 3402 cm⁻¹ dan 3780 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi *stretching* –OH dari gugus alkohol, fenol, asam karboksilat, air dan molekul –OH bebas. Serapan pada bilangan gelombang 1500-1800 cm⁻¹ dengan puncak pada bilangan gelombang 1625 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi *stretching* dari C=C dan C=O. Kandungan gugus aromatik serta rantai alkena yang lebih banyak daripada gugus karboksil menyebabkan puncak bergeser ke bilangan gelombang yang lebih kecil. Keberadaan gugus C=O semakin berkurang membuktikan bahwa pembentukan kompleks dengan Fe telah terbentuk. Puncak pada bilangan gelombang 588 cm⁻¹ menunjukkan adanya ikatan Fe–O. Vibrasi *bending* C–H dan vibrasi *stretching* C–O ditunjukkan pada bilangan gelombang 1377 cm⁻¹ dan 1007 cm⁻¹. Puncak pada bilangan gelombang 453 cm⁻¹ menunjukkan deformasi *out of plane* dari C–H.



Gambar 12. Spektra FTIR *biochar* teraktivasi, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12*

Berdasarkan Gambar 12. ditunjukkan perbandingan spektra FTIR *biochar* teraktivasi, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12*. Apabila dibandingkan antara ketiga spektra, pada *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* terlihat adanya kemunculan puncak-puncak yang baru. Pada bilangan gelombang 3700-3900 cm^{-1} terlihat adanya dari molekul $-\text{OH}$ bebas sebagai residu dari pembentukan kompleks antara kation Fe dengan gugus karboksil. Kemunculan puncak yang baru juga ditunjukkan pada bilangan gelombang 588-589 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan Fe-O. Pembentukan kompleks antara Fe dengan gugus karboksil juga dibuktikan dengan hilangnya puncak pada bilangan gelombang $\sim 1700 \text{ cm}^{-1}$ pada spektra *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12*. Intensitas puncak pada bilangan gelombang $\sim 790 \text{ cm}^{-1}$ terlihat menurun seiring dengan penambahan fasa Fe_3O_4 , hal ini menandakan bahwa pembentukan kompleks antara Fe dengan molekul yang berasal dari *biochar* melibatkan gugus fungsi C-H *out of plane*. Hal ini didukung dengan

kemunculan puncak pada bilangan gelombang $\sim 1377-1378 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi *bending* C-H.

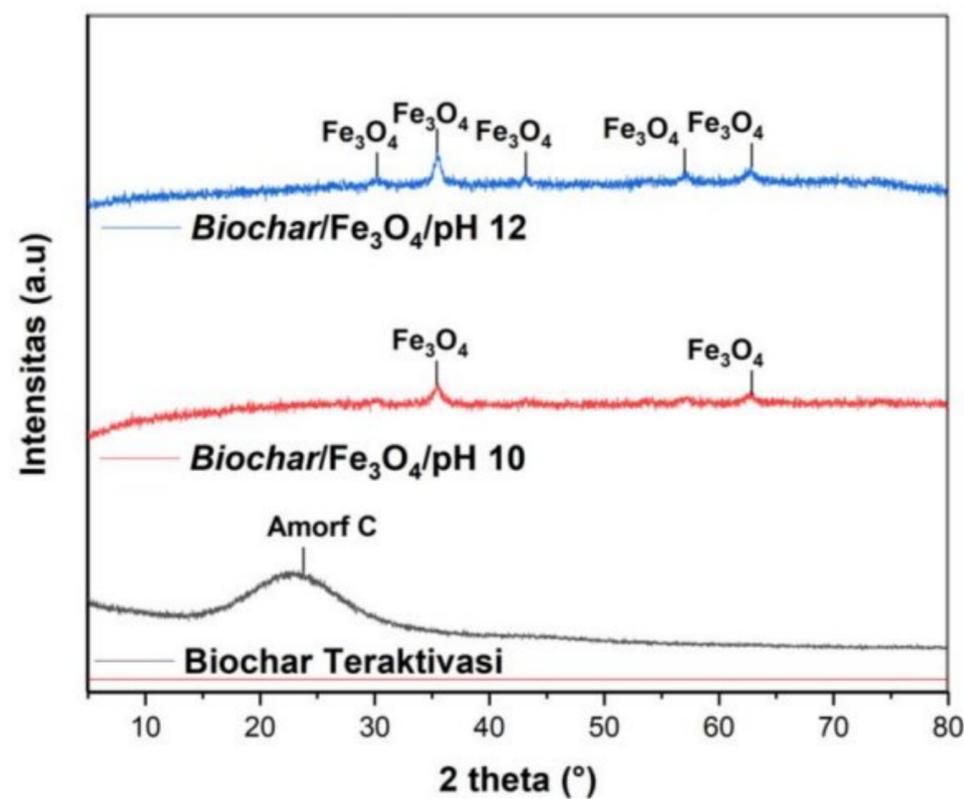
Tabel 1. Gugus fungsi pada *biochar* teraktivasi, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12*

Bilangan gelombang (cm^{-1})				
<i>Biochar</i> Teraktivasi	<i>Biochar/</i> $\text{Fe}_3\text{O}_4/$ pH 10	<i>Biochar/</i> $\text{Fe}_3\text{O}_4/$ pH 12	Interpretasi	Referensi
	3851	3780	-OH	Ighalo dkk. (2021)
3423	3414	3402	Vibrasi <i>stretching</i> -OH	Anas dkk. (2022)
1708			Vibrasi <i>stretching</i> C=O	Philippou dkk. (2019)
1616	1626	1625	Vibrasi <i>stretching</i> C=O dan C=C	Liu dkk. (2019)
	1378	1377	Vibrasi <i>bending</i> -CH	Nadeem dkk. (2019)
1095	1064	1007	Vibrasi <i>stretching</i> C-O	Anas dkk. (2022)
797	798		Deformasi C-H <i>out of</i> <i>plane</i>	Boguta dkk. (2019)
	589	588	Vibrasi <i>stretching</i> Fe-O	Anas dkk. (2022)
466	468	453	Deformasi C-H <i>out of</i> <i>plane</i>	Boguta dkk. (2019)

5.4.2 Analisis Fasa Adsorben dengan XRD

Karakterisasi dengan instrumen XRD dalam penelitian ini bertujuan untuk memperkuat hasil identifikasi serta untuk mengetahui fase oksida besi yang

terbentuk dengan melihat sudut 2θ yang muncul. Difraktogram yang terbentuk, mengindikasikan bentuk struktur kristalin yang terdapat dalam *biochar* tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan karakterisasi dengan instrument XRD pada *biochar* teraktivasi, *biochar/Fe₃O₄/pH 10*, dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* serta pada sampel *biochar* teraktivasi guna sebagai pembanding fasa amorfous. Hasil karakterisasinya dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 13. Difraksi XRD *biochar* teraktivasi, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12*

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD pada Gambar 13, menunjukkan bahwa pola difraksi dari *biochar* teraktivasi terlihat adanya puncak difraksi yang lebar yaitu pada posisi 2θ 14-33° dengan puncak tertingginya pada 23,78°. Pola difraksi seperti ini menunjukkan fasa amorfous karbon (002) dengan orientasi yang acak terdiri atas komponen heterogeny dari selulosa, lignin, dan hemiselulosa (Belcaid, dkk., 2023) Dari hal tersebut juga menunjukkan bahwa dengan hanya terlihatnya 1 puncak yang lebar fasa amorf menunjukkan juga ZnCl₂ dalam pembuatan *biochar* hanya mempengaruhi komponen organik dari material (Liu, dkk., 2019).

Kemudian untuk *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dengan proses modifikasi *biochar* menggunakan penambahan NaOH hingga pH 10 menunjukkan bahwa puncak yang sebelumnya fasa amorf pada *biochar* teraktivasi digantikan dengan puncak-

puncak yang didominasi magnetit (Fe_3O_4). Hal ini diketahui setelah dicocokkan dengan database ICDD card PDF#00-019-0629 yang menunjukkan orientasi bidang kristal pada (311) dan (440). Pola difraksi yang terdapat pada *biochar/Fe₃O₄/pH 10* yang menunjukkan 2 puncak yaitu pada 2θ 35.38° (311) dan 62.58° (440). Sedangkan untuk parameter kristal yang didapat berdasarkan hasil analisis yaitu sistem kristal kubik grup Fd-3m No. 227 dengan sudut $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$, dan $\gamma=90^\circ$. Berdasarkan sistem kristal kubik, sehingga dapat dilakukan perhitungan nilai parameter kisi berdasarkan persamaan berikut:

$$\frac{1}{d^2} = [h^2 + k^2 + l^2] \frac{1}{a^2}$$

Hasil perhitungannya nilai parameter kisi yang didapatkan dari a, b, dan c sebesar 8,42 Å. Sehingga dari hasil ini dapat dinyatakan tidak berbeda jauh dengan nilai parameter kisi yang berasal dari database yaitu sebesar 8,39 Å.

Tabel 2. Difraktogram *biochar/Fe₃O₄/pH 10*

2θ	FWHM	<i>d-spacing</i> [Å]	hkl	Ukuran Kristal
35,38	0,3149	2,54	311	26,48
62,58	0,3149	1,48	440	29,52

Berdasarkan Tabel 2. dapat dilakukan perhitungan nilai ukuran kristalin rata-rata dari nilai 2θ dan FWHM. Perhitungan ukuran kristal pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan Debye-Scherrer seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$D = K \lambda / \beta \cos\theta$$

di mana D adalah ukuran kristal (nm), λ adalah panjang gelombang X-ray (Å), β adalah FWHM (*Full Width Half Maximum*) dalam radian, θ adalah sudut difraksi (radian), dan K adalah konstanta. Ukuran kristalin rata-rata sel kristal yang didapatkan, yaitu sebesar 28,00 nm. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa fasa Fe_3O_4 dengan sistem kristal kubik telah menempel pada permukaan dari material *biochar/Fe₃O₄/pH 10*

Selanjutnya untuk *biochar/Fe₃O₄/pH 12*, puncak-puncak yang dihasilkan dari pola difraksi didominasi fasa magnetit (Fe₃O₄) setelah dicocokkan dengan database ICDD card PDF#00-019-0629 yang menunjukkan orientasi bidang kristal pada (311) dan (440). Pola difraksi yang terdapat pada *biochar/Fe₃O₄/pH 12* yang menunjukkan 5 puncak yaitu pada 2θ 30,13 (220), 35,40° (311), 43,35 (400), 56,93 (511) dan 62,36° (440). Pada Tabel 3. ditunjukkan profil puncak Fe₃O₄ pada pola difraksi *biochar/Fe₃O₄/pH 12*.

Tabel 3. Difraktogram *biochar/Fe₃O₄/pH 12*

2θ	FWHM	<i>d-spacing</i> [Å]	hkl	Ukuran Kristal
30.13	0.7872	2.97	220	20.88
35.40	0.1181	2.54	311	15.13
43.35	0.1574	2.09	400	72.45
56.94	0.2362	1.62	511	11.48
62.36	0.3149	1.49	440	29.48

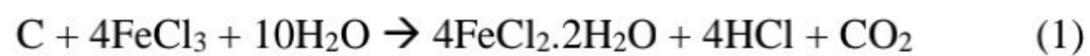
Parameter kristal yang didapatkan berdasarkan hasil analisa yaitu sistem kristal kubik grup Fd-3m No. 227 dengan sudut α=90°, β=90°, dan γ=90°. Berdasarkan sistem kristal kubik, dapat dilakukan perhitungan nilai parameter kisi berdasarkan persamaan berikut:

$$\frac{1}{d^2} = [h^2 + k^2 + l^2] \frac{1}{a^2}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai parameter kisi yang didapatkan dari a, b, dan c sebesar 8,42 Å. Nilai juga sama yaitu tidak jauh berbeda dengan nilai parameter kisi yang berasal dari database yaitu sebesar 8,39 Å. Ukuran kristalin rata-rata yang didapatkan berdasarkan perhitungan yaitu sebesar 40,62 nm.

Berdasarkan karakterisasi hasil XRD pada ketiga sampel yaitu *biochar* teraktivasi, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* menunjukkan bahwa *biochar* teraktivasi terdapat fasa amorfous karbon dibuktikan dengan adanya puncak lebar pada pola difraksi. Kemudian pembentukan material komposit *biochar-Fe₃O₄* juga berhasil dilakukan, hal itu terlihat dengan adanya perubahan

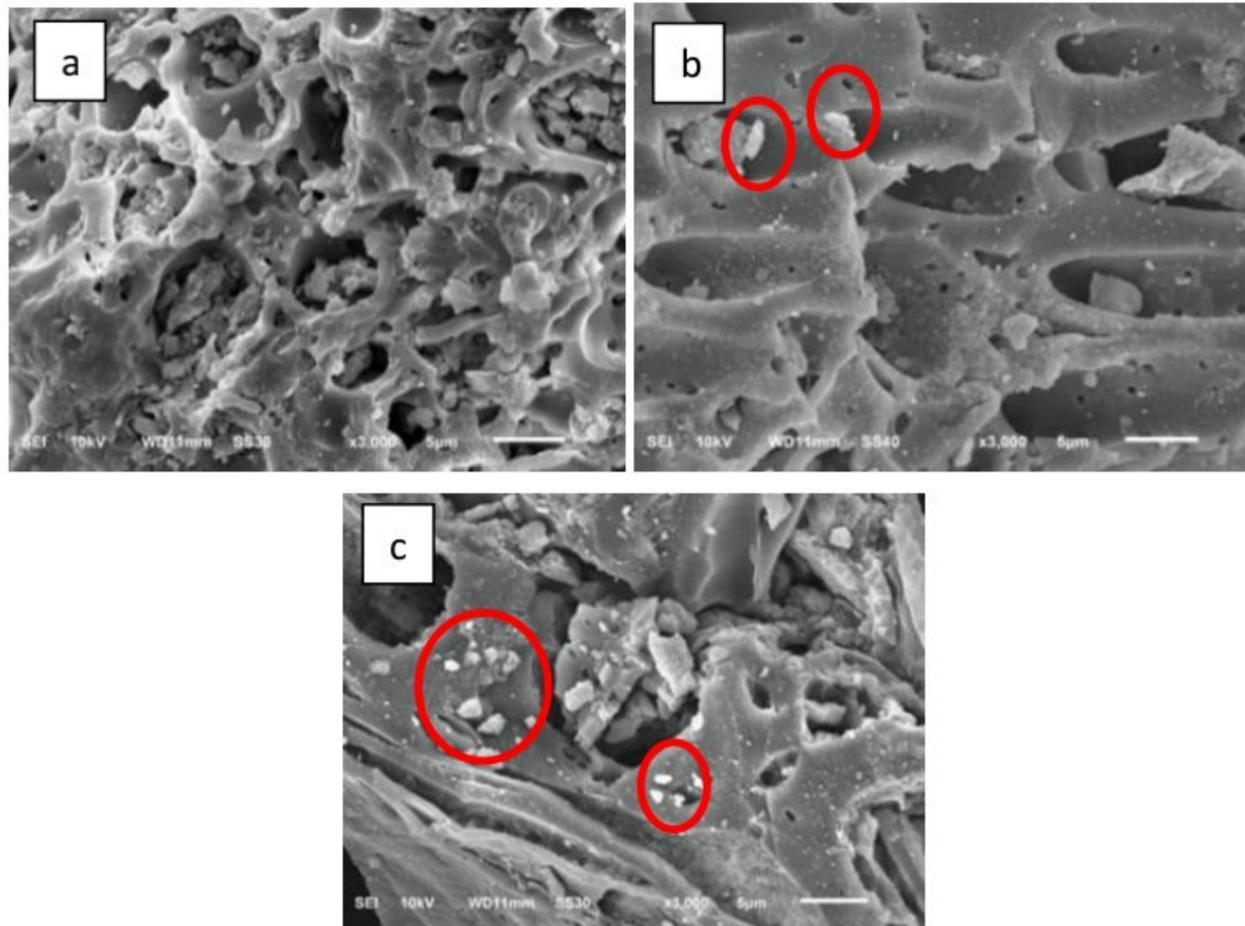
puncak pada *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* yang terlihat adanya fasa magnetit (Fe₃O₄) dengan sistem kristal kubik, parameter kisi sebesar 8,42 Å, ukuran kristalin rata rata sebesar 28,00 nm dan 27,44 nm. Selanjutnya pola difraksi yang terlihat pada *biochar/Fe₃O₄/pH 12* memiliki puncak-puncak yang terlihat lebih jelas dibandingkan dengan *biochar/Fe₃O₄/pH 10*. Hal seperti itu biasanya disebabkan karena pada *biochar/Fe₃O₄/pH 12* terdapat penambahan NaOH yang diberikan lebih banyak hingga mencapai pH 12. Pada proses pembentukan komposit Menurut Wang dkk., (2022), reaksi yang terjadi antara fasa amorfous C (grafit) dengan FeCl₃ ditunjukkan pada persamaan reaksi 1,2, dan 3. Menurut Prabowo dkk., (2018), FeCl₃ direaksikan dengan FeSO₄ untuk membentuk ion Fe²⁺ dan Fe³⁺.



Ditunjukkan bahwa semakin banyak penambahan NaOH maka jumlah ion OH⁻ yang terbentuk juga akan semakin banyak sehingga pembentukan fasa Fe₃O₄ juga akan semakin banyak. Oleh karena itu intensitas dari puncak-puncak pola difraksi yang dihasilkan dan juga ukuran kristalin pada *biochar/Fe₃O₄/pH 12* lebih tinggi daripada *biochar/Fe₃O₄/pH 10*. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai pembuatan *biochar/Fe₃O₄* juga menunjukkan pola difraksi yang tidak berbeda dengan hasil penelitian ini seperti pada penelitian Anas dkk. (2022), Belcaid dkk. (2023), Fito dkk. (2023) dan Chellappan dkk. (2023).

5.4.3 Analisis Struktur Morfologi Adsorben dengan SEM-EDX

Biochar termodifikasi Fe₃O₄ yang dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX bertujuan untuk melihat struktur morfologi permukaan dan mengetahui komposisi kimia yang ada di dalam *biochar* yang dihasilkan. Gambar morfologi permukaan pada kedua sampel dapat dilihat pada Gambar 19, yang merupakan perbandingan antara *biochar* teraktivasi, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* berdasarkan hasil karakterisasi SEM.



Gambar 14. Citra morfologi *biochar* teraktivasi (a), *biochar/Fe₃O₄/pH 10* (b), dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* (c) dengan perbesaran 3000 kali

Berdasarkan Gambar 14. terlihat permukaan *biochar* teraktivasi memiliki pori dengan bentuk seperti rantai dengan ukuran pori yang relatif kecil. Kemudian pada *biochar/Fe₃O₄/pH 10* memiliki permukaan pori yang relatif besar dengan bentuk menyerupai cincin yang berukuran besar serta homogen karena adanya pengaruh NaOH yang menyebabkan pori-pori dari *biochar* semakin terbuka dibandingkan dengan *biochar* teraktivasi. Sedangkan pada *biochar/Fe₃O₄/pH 12* citra morfologinya memiliki bentuk permukaan pori yang tidak beraturan dan juga terdapat patahan horizontal.

Pada permukaan *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* terlihat adanya bitnik-bintik Fe₃O₄ dengan warna putih yang ditandai dengan tanda bulatan merah yang menempel pada permukaan *biochar* dengan penyebaran yang tidak merata. Ini menunjukkan *biochar* memiliki sifat magnetik yang dibuktikan dengan menempelnya Fe₃O₄ pada permukaan *biochar*. Hal ini membuktikan bahwa modifikasi *biochar* telah berhasil dengan penambahan sifat magnetik, sehingga dapat digunakan sebagai adsorben ion logam tembaga yang dapat dipisahkan dengan ditarik oleh magnet eksternal.

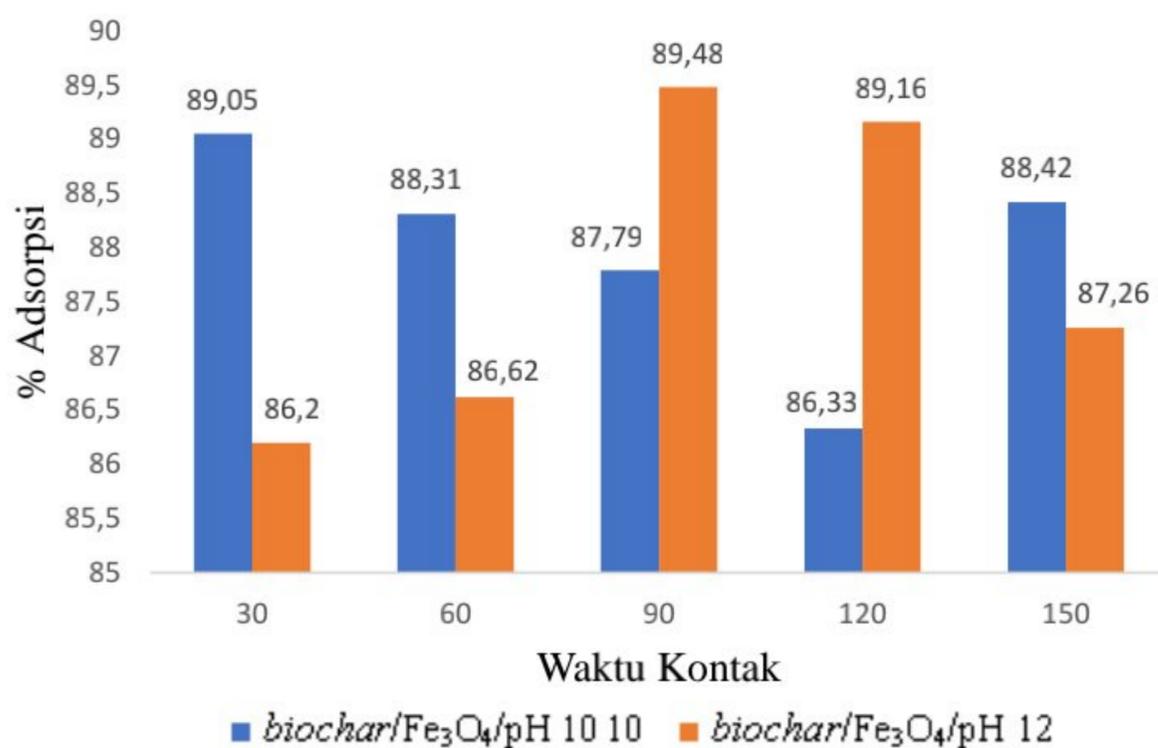
Tabel 4. Hasil Analisis EDX

Elemen	<i>Biochar</i>	<i>Biochar/Fe₃O₄</i>	<i>Biochar/Fe₃O₄</i>
	Teraktivasi	/pH 10	/pH 12
	Massa (%)	Massa (%)	Massa (%)
C (karbon)	84,58	14,98	71,81
Si (silika)	15,42	5,36	1,13
Fe (besi)	-	79,66	27,06

Berdasarkan hasil analisis EDX Tabel 4. dapat dilihat bahwa *biochar/Fe₃O₄/pH 10* mempunyai komposisi C (karbon) paling besar, yaitu 92,42%. Hal ini memungkinkan *biochar/Fe₃O₄/pH 10* memiliki kemampuan adsorpsi yang optimum, kemudian untuk komposisi lainnya ada Fe (besi) sebesar 6,61% dan Si (silika) sebesar 0,97%. Kandungan Fe dalam *biochar/Fe₃O₄/pH 10* membuat *biochar* tersebut mempunyai sifat magnetik. Sedangkan untuk *biochar/Fe₃O₄/pH 12* memiliki komposisi C (71,81%), Si (1,13%), dan Fe (27,06%). Kemudian untuk *biochar* teraktivasi memiliki komposisi C (84,58%), Si (15,42%), dan tanpa kandungan Fe. Pada *biochar* teraktivasi tidak memiliki kandungan Fe karena tidak adanya proses modifikasi untuk sifat magnetik.

5.5 Uji Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) dengan Variasi Waktu Kontak menggunakan Instrumen AAS

Uji adsorpsi dapat digunakan untuk melihat keefektivas dari suatu *biochar* dalam mengadsorpsi logam tembaga yang menggunakan adsorben dari bahan alam seperti sekam padi yang memiliki daya serap yang cukup baik (Ali dkk., 2020). Pada pengujian ini menggunakan variasi waktu kontak 30; 60; 90; 120 dan 150 menit untuk menentukan *biochar* mencapai waktu optimum.



Gambar 15. Kurva perbandingan waktu kontak *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12*

Gambar 15. merupakan kurva pebandingan adsorpsi antara *biochar/Fe₃O₄/pH 10* dan *biochar/Fe₃O₄/pH 12*. Adsorpsi berjalan secara naik turun dimana ketika naik merupakan waktu yang optimal sementara ketika turun maka gugus hidroksi dalam komposit telah terjenuhkan sehingga mengakibatkan menurunnya daya dsorp (Nucifea dkk., 2016). Berdasarkan kurva, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* memperoleh waktu optimum pada menit ke-30 dengan kemampuan adsorpsi sebesar 89,05%, sedangkan pada *biochar/Fe₃O₄/pH 12* mencapai waktu optimum pada menit ke-90 dengan kemampuan adsorpsi sebesar 89,48%. Oleh karena itu, *biochar/Fe₃O₄/pH 10* memiliki kedudukan yang lebih baik dibandingkan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* karena kemampuan adsorpsinya yang tidak jauh berbeda dengan *biochar/Fe₃O₄/pH 12* namun hanya membutuhkan waktu 30 menit untuk mencapai waktu optimumnya.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Pembuatan *biochar* dapat dilakukan dengan metode pirolisis menggunakan biomassa sekam padi pada temperatur 300 °C. Kemudian untuk modifikasinya dapat menggunakan magnetit Fe₃O₄. Hal ini untuk mempermudah proses pemisahan *biochar* dengan larutan setelah proses adsorpsi. Hasilnya *biochar* termodifikasi sifat magnetic sehingga pemisahannya dapat dilakukan dengan cukup menarik *biochar* dengan magnet eksternal.
2. Karakterisasi *biochar* dapat dilakukan dengan instrument FTIR. Hal ini berguna untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam *biochar*. Hasilnya pada *biochar*/Fe₃O₄/pH 10 dan *biochar*/Fe₃O₄/pH 12 terdapat gugus Fe dengan puncak gelombang 589 cm⁻¹ dan 588-589 cm⁻¹. Kemudian untuk karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan adanya kandungan Fe₃O₄ pada *biochar* pH 10 dan Ph 12. Selanjutnya karakterisasi dengan SEM-EDX berguna untuk mengetahui citra morfologi dari sampel. Permukaan *biochar* pH 10 dan pH 12 terlihat adanya bitnik-bintik Fe₃O₄ dengan warna putih yang menempel pada permukaan *biochar* dengan penyebaran yang tidak merata. Ini menunjukkan *biochar* memiliki sifat magnetic yang dibuktikan dengan menempelnya Fe₃O₄ pada permukaan *biochar*. Hal ini juga menunjukkan keberhasilan dalam sintesis termodifikasi.
3. Proses adsorpsi logam tembaga dengan *biochar* pH 10 dan pH 12 yang kemudian dianalisis menggunakan instrument AAS. Hasilnya *biochar* pH 10 menunjukkan waktu optimum pada 30 menit dengan persen penyerapan 89,04%. Sedangkan untuk pH 12 membutuhkan waktu sampai 90 menit untuk mencapai penyerapan maksimalnya dengan nilai 89,48%.

6.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan oleh penulis masih memiliki banyak kekurangan sehingga perlu dilakukan penelitian tahapan lebih lanjut mengenai keefektivitasan dalam mengadsorp ion tembaga dengan variasi konsentrasi

DAFTAR PUSTAKA

- Adinata, M.S., 2013. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Karbon Aktif. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknologi Industri, Surabaya.
- Agnestisia, R., 2017, Synthesis & Characterization of Magnetit (Fe_3O_4) and Its Applications As Adsorbent Methylene Blue, *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 11(2), 61-70.
- Agnestisia, R., 2017, Synthesis & Characterization of Magnetit (Fe_3O_4) and Its Applications As Adsorbent Methylene Blue. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 11(2), 61-70.
- Anas, A. K., Mutiara, R., Musawwa, M. M., & Taftazani, A. 2022. Influence of mixing time and mass ratio of precursor on preparation of magnetic *biochar* derived from cassava peel (*Manihot utilissima*). *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 10–16.
- Anischan, G., 2009, Biochar Penyelamat Lingkungan. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 31(6), 15-16.
- Artioli, Y., 2008, The Chemistry of Adsorption. *Ecological Processes*, 60–65.
- Asip, F., 2008, Uji Efektifitas Cangkang Telur Dalam Mengadsorpsi Ion Fe Dengan Proses Batch. *Jurnal Universitas Sriwijaya*, Palembang.
- Astuti, D.H., Sani, Yohanes Gilang Yuandana, Karlin. 2018. Kajian Karakteristik *Biochar* dari Batang Tembakau, Batang Pepaya dan Jerami Padi dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 12(2).
- Badi, M.Y., Azari, A., Pasalari, H., Esrafil, A., Farzadkia, M., 2018. Modification of activated carbon with magnetic Fe_3O_4 nanoparticle composite for

- removal of ceftriaxone from aquatic solutions, *Journal of Molecular Liquids*, 261, 146-154.
- Baidoo, I., Sarpong, D. B., & Bolwig, S. 2016. *Biochar* amended soils and crop productivity: A critical and meta-analysis of literature. *International Journal of Development and Sustainability*, 5(9), 414–432.
- Bansal, R.C., Goyal, M., 2005, *Activated Carbon Adsorption*. Taylor & Francis Group. LLC.
- Bansode RR, Losso JN, Marshall WE, Rao RM, Portier RJ. 2003. Adsorption of volatile organic compound by pecan shell- and almond shell-based granular activated carbons. *Bioresource Technology* 90: 175- 184.
- Belcaid, A., Beakou, B. H., Bouhsina, S., & Anouar, A. 2023. New insights on manganese dioxide nanoparticles loaded on cellulose-based *biochar* of cassava peel for the adsorption of three cationic dyes from wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 241,
- Bijang, C.M., Tehubijuluw, H., Kaihatu, T.G., 2018, Biosoprsi Ion Logam Kadmium (Cd^{2+}) pada Biosorben Rumput Laut Coklat (*Padina australis*) Asal Panatai Liti Pulau Kisar, Indo. *J. Chem. Res.*, 6(1), 51-58.
- Boguta, P., Sokołowska, Z., Skic, K., & Tomczyk, A. 2019. Chemically engineered *biochar* – effect of concentration and type of modifier on Sorption and structural properties of *biochar* from wood waste. *Fuel*, 256, 115893.
- Budiono, A. S. dan Gunawan. 2005. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Fosfat untuk Adsorpsi Fenol. Semarang: Universitas Dipenorogo.

- Cahyana, A., Marzuki, A., 2014. Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) Pada Kaca TZN Yang Dikristalkan Sebagian. *Prosiding Mathematics and Sciences Forum 2014*, 23–26.
- Chellappan, S., Kallingal, A., Vandana, S., Nair, V., & Chinglenthoba, C. 2023. *Methyl Orange Dye Adsorbed Biochar as a Potential Brønsted Acid Catalyst for Microwave Assisted Biodiesel Production*.
- Danarto, Y.C., Samun, T., 2008, Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi pada Proses Adsorpsi Logam Cr(VI), *Ekulibrium*, 7(1), 13-16.
- Danarto, Y.C., Utomo, P.B., dan Sasmita, F. 2010. Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit, *Prosding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, 1:6.
- Darmayanti, Rahman, N., & Supriadi. 2012. Adsorpsi timbal (Pb) dan zink (Zn) dari larutannya menggunakan arang hayati (*biocharcoal*) kulit pisang kepok berdasarkan variasi pH. *Jurnal Akademika Kimia*, 1(4), 159-165.
- Deng, Y., Zhang, T., Wang, Q. 2017. Biochar Adsorption Treatment for Typical Pollutants Removal in Livestock Wastewater: A Review.
- Dewi, L., Hadisoebroto, G., Anwar, K., Farmasi, J., Al-ghifari, U., & Atom, S. S. 2021. *p- ISSN 2338-6851/ e-ISSN 2723-1887*. 9(2), 15–24.
- Dewi, R., Azhari, A., Nofriadi, I. 2020. Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2).
- Dung, K.T., H.T. Hai, H.L. Phue, D.B. Long. 2009. Preparation and Characterization of Magnetic Nanoparticles with Chitosan Coating. *Journal of Physics; Conference series Vietnam*. 1: 187.
- Fatmawati, M. 2013. Analisis Pendapatan Petani Padi Di Desa Teep Kecamatan Langowan Timur. *Jurnal Penelitian*. Vol.1 No.3 September 2013.

- Fisli A, Hamsah D, Wardiyati S, Ridwan. 2007. Pengaruh Suhu Pembuatan Nanokomposit Oksida Besi Bentonit. *J Sains Mat Indonesia*. 2:145-149.
- Fito, J., Abewaa, M., & Nkambule, T. 2023. Magnetite-impregnated *biochar* of *Parthenium Hysterophorus* for adsorption of Cr(VI) from Tannery Industrial Wastewater. *Applied Water Science*, 13(3).
- Fraser, B., 2010, High-tech charcoal fights climate change, *Environmental Science and Technology*, 44(2), 548–549.
- Gawande, P. S. M., Belwalkar, N. S., and Mane, A. A. 2017. Adsorption and its Isotherm – Theory. *International Journal of Engineering Research*, 6(6), 312–316.
- Gong J, Wang B, Zeng G, Yang C, Niu C, Niu Q, Zhou W, dan Liang Y. 2009. Removal of Cationic Dyes from Aqueous Solution Using Magnetic MultiWall Carbon Nanotube Nanocomposite as Adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*.164:1517-1522.
- Gunandjar, 1985, Diktat Kuliah Spektrofotometer Serapan Atom, PPNY-BATAN, Jogjakarta.
- Halim, A., Romadon, J., Achar, M. Y., 2021, Pembuatan Adsorben dari Sekam Padi sebagai Penyerap Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) dalam Air Limbah, *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 3(2), 66-74.
- Hariningsih, S., 2016, Pertumbuhan dan Hasil Padi (*Oryza sativa* L.) Sawah pada Berbagai Metode Tnam dengan Pemberian Pupuk Organik, *Gontor Agrotech Science Journal*, 2(2), 1-19.
- Haryati, S., Supraptiah, E., Bustan, M. D., 2011, Pengujian Performance Adsorben Serat Buah Mahkota Dewa (*Phaleria marcocarpa* (Scheff)) dan

- Clay Terhadap Larutan Yang Mengandung Logam Kromium, *Journal of Applied and Engineering Chemistry*, 1(1), 18-23.
- Ighalo, J. O., Onifade, D. V., & Adeniyi, A. G. (2021). Retort-heating carbonisation of almond (*terminalia catappa*) leaves and LDPE waste for *biochar* production: Evaluation of Product Quality. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(5), 1059–1067.
- Jamieson, T., Eric, S., and Celine G., 2014. Characterization Of *Biochar*- Derived Dissolved Organic Matter Using UV–Visible Absorption And Excitation Emission Fluorescence Spectroscopies. *Chemosphere.*, 103, 197-204.
- Khanifa, L. N., Mulyatun, Ervin, T. S., 2019, Uji Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cu^{2+} Menggunakan Hidrochar Eichhornia Crassipes Termodifikasi H_2O_2 , *Walisongo Journal of Chemistry*, 2(2), 64-79.
- Komkiene, J. dan Baltrenaite, E. 2016. Baltrenaite. *Biochar* as adsorbent for removal of heavy metal ions [Cadmium(II), Copper(II), Lead(II), Zinc(II)] from aqueous phase, *International Journal of Environmental Science Technology*, Vol.13 No.2: 471-482.
- Lakherwal, D. 2014. Adsorption of Heavy Metals: A Review. *International Journal of Environmental Research and Development*. 4 (1): 41-48.
- Laos, L. E., 2016. Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*. 1(1). 32-36.
- Liu, L., Li, Y., & Fan, S. (2019). Preparation of KOH and H_3PO_4 modified *biochar* and its application in methylene blue removal from aqueous solution. *Processes*, 7(12), 891.
- Lumintang, F. M., 2013, Analisis Pendapatan Petani Padi Di Desa Teep Kecamatan Langowan Timur, *Jurnal EMBA*, 1(3), 991-998.
- Manocha, S.M., 2003. Porous Carbons. *Journal Sadhana*, 28, 1-2.

- Mikel, F.X. dan Eduardus Y.N. 2017. Pengaruh Jenis *Biochar* dan Jenis Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau (*Vigna radiata* L), *Jurnal Pertanian Konservasi Lahan Kering*, Vol.2 No.3: 51-55.
- Mukti, Kusnanto. 2012. Fabrikasi dan Karakterisasi XRD (X-Ray Diffractometer). Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Muzakir, U., Hamdani, Syuhada, A., 2012, Karakterisasi Material Penyimpan Kalor Laten Menggunakan Metode T-History, *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, 1(2), 81-85.
- Nadeem, F., Jamil, N., Moazzam, A., Ahmad, S., Lateef, A., Khalid, A., ... Munir, S. 2019. Synthesizing and characterizing sawdust*biochar*/fe₃o₄ nanocomposites and its potential application in textile wastewater treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(4), 2311–2319.
- Nirmala, Vanny M.A.T. dan Suherman. 2015. Adsorpsi Ion Tembaga (Cu) Dan Ion Besi (Fe) Dengan Menggunakan Arang Hayati (*Biocharcoal*) Kulit Pisang Raja (*Musa Sapientum*), *Jurnal Akademika Kimia*, Vol.4 No.4: 189-196.
- Notodarmojo, S. 2005. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. ITB Pr. Bandung.
- Omidi, M., Fatehinya, A., Farahani, M., Akbari, Z., Shahmoradi, S., Yazdian, F., Vashae, D. 2017. Characterization of biomaterials. *Biomaterials for Oral and Dental Tissue Engineering*, 97-115.
- Patra, J. M., Panda, S. S., Dhal, N. K., 2017, Biochar as a low-cost adsorbent for heavy metal removal: A review, *International Journal of Research in Biosciences*, 6(1), 1-7.
- Philippou, K., Anastopoulos, I., Dosche, C., & Pashalidis, I. (2019). Synthesis and characterization of a novel fe₃o₄-loaded oxidized *biochar* from pine needles and its application for uranium removal. kinetic, thermodynamic,

and mechanistic analysis. *Journal of Environmental Management*, 252, 109677.

Prabowo, B., Khairunnisa, T., & Nandiyanto, A. (2018). Economic Perspective in the Production of Magnetite (Fe_3O_4) Nanoparticles by Co-precipitation Method. *World Chemical Engineering Journal*. 2(2). 1-4.

Prasetyo, D., Fadil, F., Sarno, Supriatin, Tamaluddin, S., 2020, Aplikasi *Biochar* Batang Singkong dan Pemupukan Fosfat pada Tanah Ultisol Terhadap P Tersedia, Pertumbuhan, dan Produksi Jagung (*Zea mays L.*), *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(2), 329-337.

Pratiwi, R., Rahayu, D., Barliana, M. I., 2016. Pemanfaatan Selulosa dan Limbah Jerami Padi (*Oryza sativa*) Sebagai Bahan Bioplastik. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 3(3). 83-91.

Pratiwi, R., Tristi, J., and Saputri, F. A. (2016). Kontaminasi Timbal Pada Berbagai Jenis Makanan dan Minuman. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 7(1), 59–66..

Puspita, V., Syakur, Darusman, 2021., Karakteristik *Biochar* Sekam Padi Pada Dua Temperatur Pirolisis, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa (JIM)*, 6(4).

Raharjo, S. 1997. Pembuatan Karbon Aktif dari Serbuk Gergajian Pohon Jati dengan NaCl sebagai Bahan Pengaktif. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Brawijaya Malang.

Rahmawati, E., Yuanita, L., 2013. Adsorpsi Pb^{2+} oleh Arang Aktif Sabut Siwalan (*Borassus flabellifer*) UNESA *Journal of Chemistry*, 2(3), 82-87.

Ridhuan, K., Suranto, J., 2016, Perbandingan Pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori, *Jurnal Teknik. Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 5(1), 50-56.

- Safitri, I. N., Setiawati, T., Bowo, C., 2018, *Biochar* dan Kompos untuk Peningkatan Sifat Fisika Tanah dan Efisiensi Penggunaan Air, *Techno: Jurnal Penelitian*, 7(1), 116-127.
- Sari, M. F. P., Puji, L., Risfidian, M., 2017, Penggunaan Karbon Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben Zat Warna Procion Merah Limbah Cair Industri Songket. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Vol. 7, No. 1. Hal: 37- 40.
- Sarwani, M., Nurida, N.L., Agus, F., 2013, Greenhouse gas emissions and land use issues related to the use of bioenergy in Indonesia, *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 32(2), 56-66.
- Sasmita, A., Elystia, S., dan Fajri, S. M., Penyisihan Logam Berat Pb pada Tanah dengan Penambahan *Biochar* Sekam Padi, *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(2), 268-278.
- Sembiring, M.T., Sinaga, T. 2003. *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. USU. Medan.
- Setyaningsih, N.E., Muttaqin, R., Mar'ah, I., 2017, Optimalisasi Waktu Pelapisan Emas-Palladium pada Bahan Komposit Alam untuk Karakterisasi Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX), *physics communication*, 1(2), 36 40.
- Setyaningtyas, T. dan Roy, A., 2007, Penurunan Kadar Zat Warna Rodamin B Menggunakan Humin Hasil Isolasi dari Tanah Hutan Damar Batu Raden, *Molekul*, 2(2): 71-7.
- Sharma, R. K., Agrwal, M., dan F. M. Marshall. 2008. Atmospheric Deposition of Heavy Metal (Cu, Zn, Cd and Pb) in Varanasi City, India. *Journal Environ Monit Assess.* 42: 269-278.

- Sulistiyani, M., and Huda, N. 2017. Optimasi Pengukuran Spektrum Vibrasi Sampel Protein Menggunakan Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FT IR). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2), 173–180.
- Suseno, J.E. dan Firdausi K.S., 2008, Rancang Bangun Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) untuk Penentuan Kualitas Susu Sapi. *Berkala Fisika*. 11 (1): 23-28.
- Syauqiah, I., Amalia, M., Kartini, H. A., 2016. Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif, *Info Teknik*, 12(1), 11–20.
- Tentama, F., Maulana, M., Anggraeni, R., 2018, Pemberdayaan Masyarakat dalam Pemanfaatan Limbah Pertanian sebagai Bioenergi Alternatif, Media Tanam, dan Pupuk Organik, *Jurnal Pemberdayaan*, 1(2), 367-374.
- Thines, K. R., Abdullah, E. C., Mubarak, N. M., and Ruthiraan, M. 2017. Synthesis of Magnetic Biochar from Agricultural Waste Biomass to Enhancing Route for Wastewater and Polymer Application: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 257–276.
- Wang, P., Chen, W., Zhang, R., & Xing, Y. (2022). Enhanced removal of malachite green using calcium-functionalized magnetic biochar. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3247.
- Widiastuti, M. M. D., Lantang, B., 2017, Pelatihan Pembuatan *Biochar* dari Limbah Sekam Padi Menggunakan Metode Retort Kiln, *Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(2), 129-135.
- 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. *Teknik Mesin*, 2(1), 33– 39.

- Yi, Y., Huang, Z., Lu, B., Xian, J., Tsang, P. E., Cheng, W., and Fang, Z. 2019. Magnetic Biochar for Environmental Remediation: a Review. *Bioresource Technology*, 122468.
- Zakaria, A. 2011. Adsorpsi Cu(II) Menggunakan Zeolit Sintetis Dari Abu Terbang Batubara. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Zakaria, A., Henny, R., Wittri, D., Yustinus, P., Agus, T., 2012 Karakterisasi dan Pemanfaatan Abu Terbang Aktivasi Fisika dalam Menjerap Ion Ion logam Cu^{2+} , *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*, 160-167.
- Zhang, B., Li, Y., Wu, T., Sun, D., Chen, W., Zhou, X. 2018. Magnetic Iron Oxide/ Graphene Oxide Nanocomposites: Formation and Interaction Mechanism for Efficient Removal of Methylene Blue and p-tert butylphenol from Aqueous Solution. *Materials Chemistry and Physics*, 205, 240–252.
- Zhang, X., Lv, L., Qin, Y., Xu, M., Jia, X., Chen, Z. 2018. Bioresource Technology Removal of Aqueous Cr (VI) by a Magnetic Biochar Derived from Melia Azedarach Wood. *Bioresource Technology*, 256(2018), 1–10.
- Zhang, X., Zhu, L., Lei, H., Zhang, Y., Yadavalli, G., Villota, E., 2018, A Review of Biochar Derived from Pyrolysis and Its Application in Biofuel Production, *SF Journal of Material and Chemical Engineering*, 1(1), 1-9.

LAMPIRAN

I. PERHITUNGAN LARUTAN

A. Pembuatan Larutan Induk

$$\text{massa} = \frac{Mr}{Ar} \times \frac{1000}{V(l)}$$

$$\text{massa} = \frac{Mr \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{Ar \text{ Cu}} \times \frac{1000}{V(l)}$$

$$\text{massa} = \frac{249,68}{63,5} \times 10 \text{ mg}$$

$$\text{massa} = 39,32 \text{ mg}$$

$$\text{massa} = 0,03932 \text{ gram}$$

B. Pembuatan Larutan standar

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

1) Pengenceran 1 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 1 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,25 \text{ mL}$$

2) Pengenceran 2 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 2 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ mL}$$

3) Pengenceran 3 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 3 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{3 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,75 \text{ mL}$$

4) Pengenceran 4 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 4 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{4 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

5) Pengenceran 5 ppm

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

$$100 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}$$

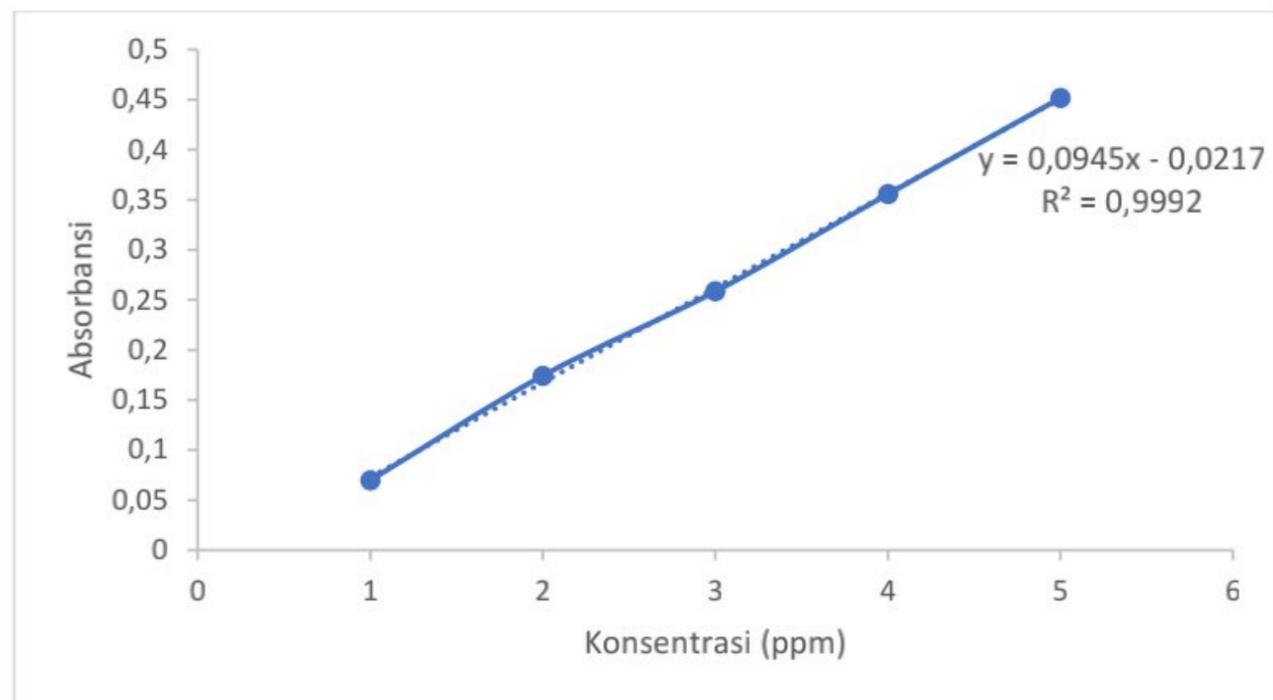
$$V_1 = \frac{5 \text{ ppm} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 1,25 \text{ mL}$$

II. PERHITUNGAN ANALISIS DATA

A. Data Larutan Standar (Pembacaan Duplo)

Larutan Standar	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Standar 1	1	0,069692
Standar 2	2	0,174184
Standar 3	3	0,258406
Standar 4	4	0,35562
Standar 5	5	0,451576



$$y = 0,0945x - 0,0217$$

$$a \quad 0,0945$$

$$b \quad 0,0217$$

Keterangan:

y = absorbansi sampel

a = intersep

b = slope

B. Data *Biochar/Fe₃O₄/pH 10*

Variasi Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
30 menit	0,22	0,018
	0,21	0,017
60 menit	0,26	0,021
	0,26	0,021
90 menit	0,29	0,024
	0,28	0,023
120 menit	0,37	0,030
	0,38	0,031
150 menit	0,26	0,021
	0,25	0,020

material	Volume	Massa	Konsentrasi	Konsentrasi
	Larutan	<i>Biochar</i>	Awal Cu	Akhir Cu
	(l)	(g)	(ppm)	(ppm)
<i>Biochar/Fe₃O₄/</i> pH 10	0,025	0,08	5	0,215
	0,025	0,08	5	0,26
	0,025	0,08	5	0,285
	0,025	0,08	5	0,375
	0,025	0,08	5	0,255

Absorbansi	Konsentrasi Sebenarnya (Ce)	Adsorpsi (%)
0,0175	0,547643979	89,04712042
0,021	0,584293194	88,31413613
0,0235	0,610471204	87,79057592
0,0305	0,683769634	86,32460733
0,0205	0,579057592	88,41884817

Keterangan:

$$a) \text{ Konsentrasi akhir} = \frac{\text{konsentrasi 1} + \text{konsentrasi 2}}{2}$$

$$b) \text{ Absorbansi} = \frac{\text{absorbansi 1} + \text{absorbansi 2}}{2}$$

$$c) \text{ Konsentrasi sebenarnya (Ce)} = \frac{\text{absorbansi} + b}{a}$$

$$d) \text{ Adsorpsi (\%)} = \frac{(\text{konsentrasi awal Pb} - \text{konsentrasi sebenarnya})}{(\text{konsentrasi awal Pb} \times 100)}$$

C. Data *Biochar* pH 12

Variasi Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
30 menit	0,53	0,044
	0,53	0,043
60 menit	0,51	0,042
	0,51	0,041
90 menit	0,35	0,028
	0,34	0,028
120 menit	0,36	0,029
	0,37	0,030
150 menit	0,48	0,039
	0,47	0,038

Material	Volume Larutan (l)	Massa <i>Biochar</i> (g)	Konsentrasi Awal Cu (ppm)	Konsentrasi Akhir Cu (ppm)
<i>Biochar/Fe₃O₄/</i> pH 12	0,025	0,08	5	0,53
	0,025	0,08	5	0,51
	0,025	0,08	5	0,345
	0,025	0,08	5	0,365
	0,025	0,08	5	0,475

Absorbansi	Konsentrasi Sebenarnya (Ce)	Adsorpsi (%)
0,0435	0,68994709	86,2010582
0,0415	0,668783069	86,62433862
0,028	0,525925926	89,48148148
0,0295	0,541798942	89,16402116
0,0385	0,637037037	87,25925926

Keterangan:

$$a) \text{ Konsentrasi akhir} = \frac{\text{konsentrasi 1} + \text{konsentrasi 2}}{2}$$

$$b) \text{ Absorbansi} = \frac{\text{absorbansi 1} + \text{absorbansi 2}}{2}$$

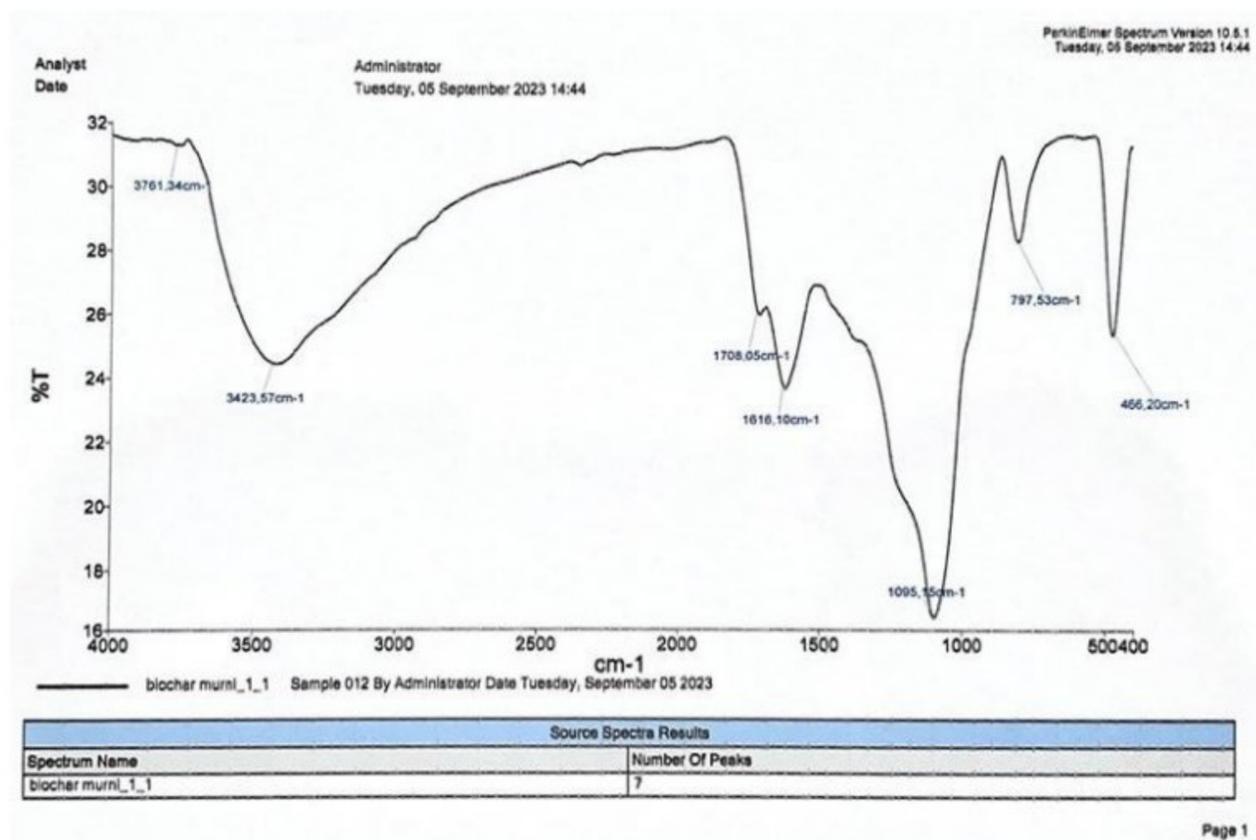
$$c) \text{ Konsentrasi sebenarnya (Ce)} = \frac{\text{absorbansi} + b}{a}$$

$$d) \text{ Adsorpsi (\%)} = \frac{(\text{konsentrasi awal Pb} - \text{konsentrasi sebenarnya})}{(\text{konsentrasi awal Pb} \times 100)}$$

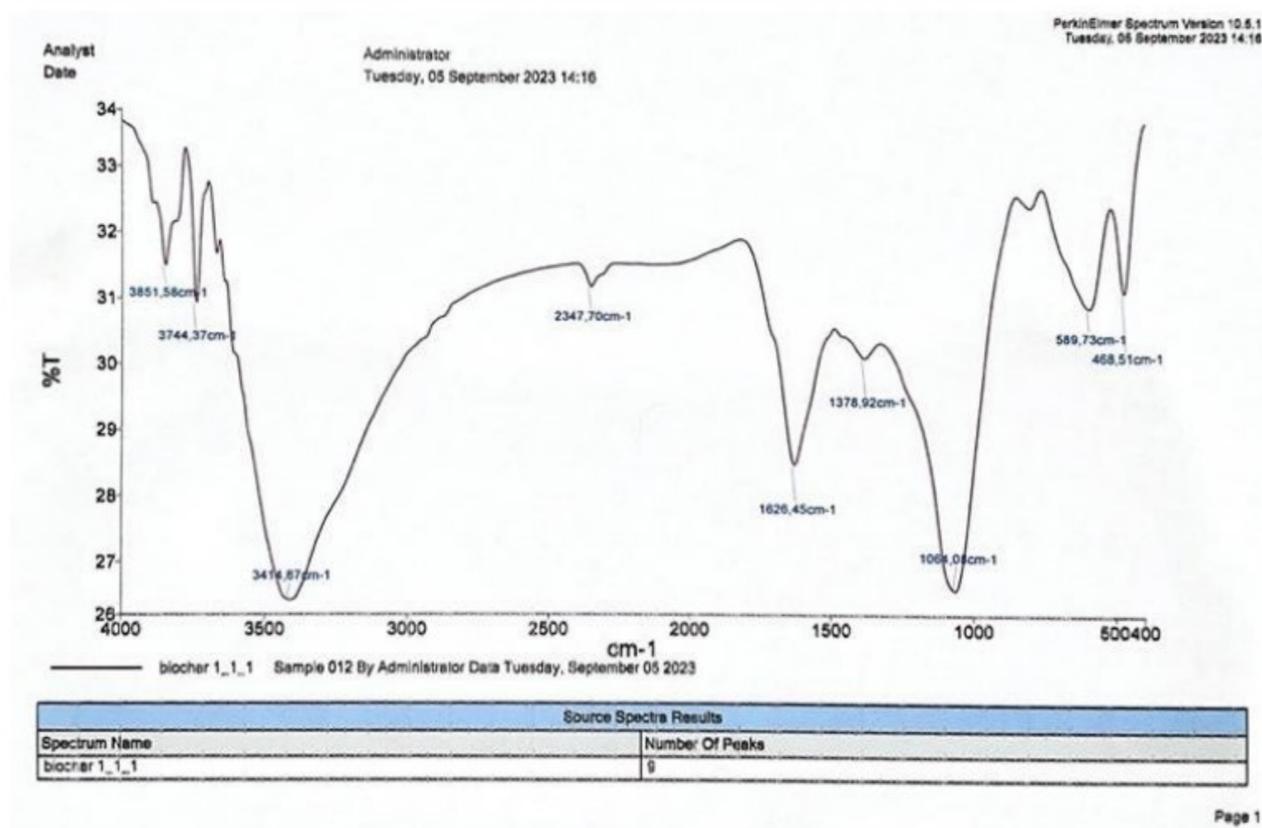
III. HASIL KARAKTERISASI

a) Instrumen FTIR

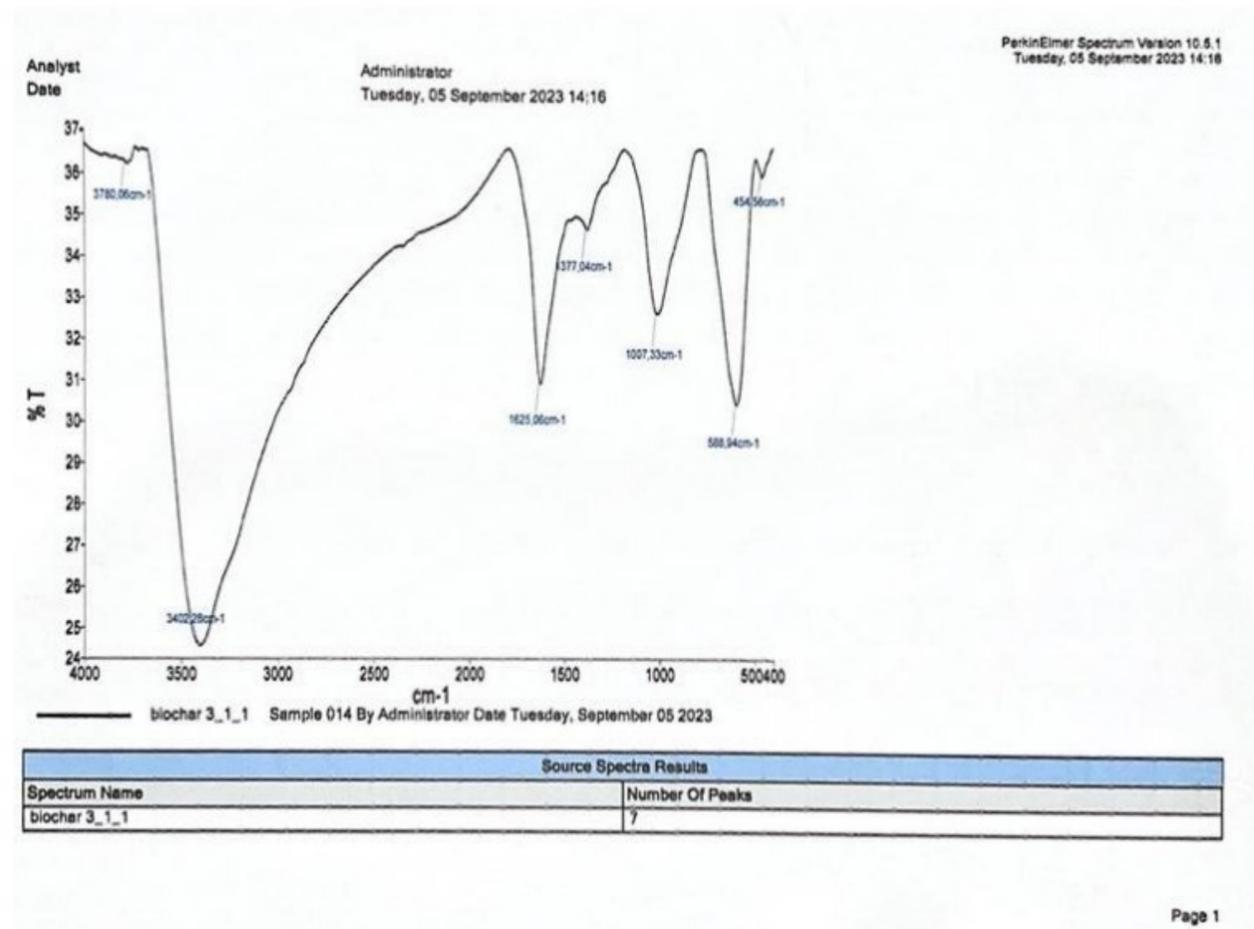
1) Biochar teraktivasi



2) Biochar/Fe₃O₄/pH 10

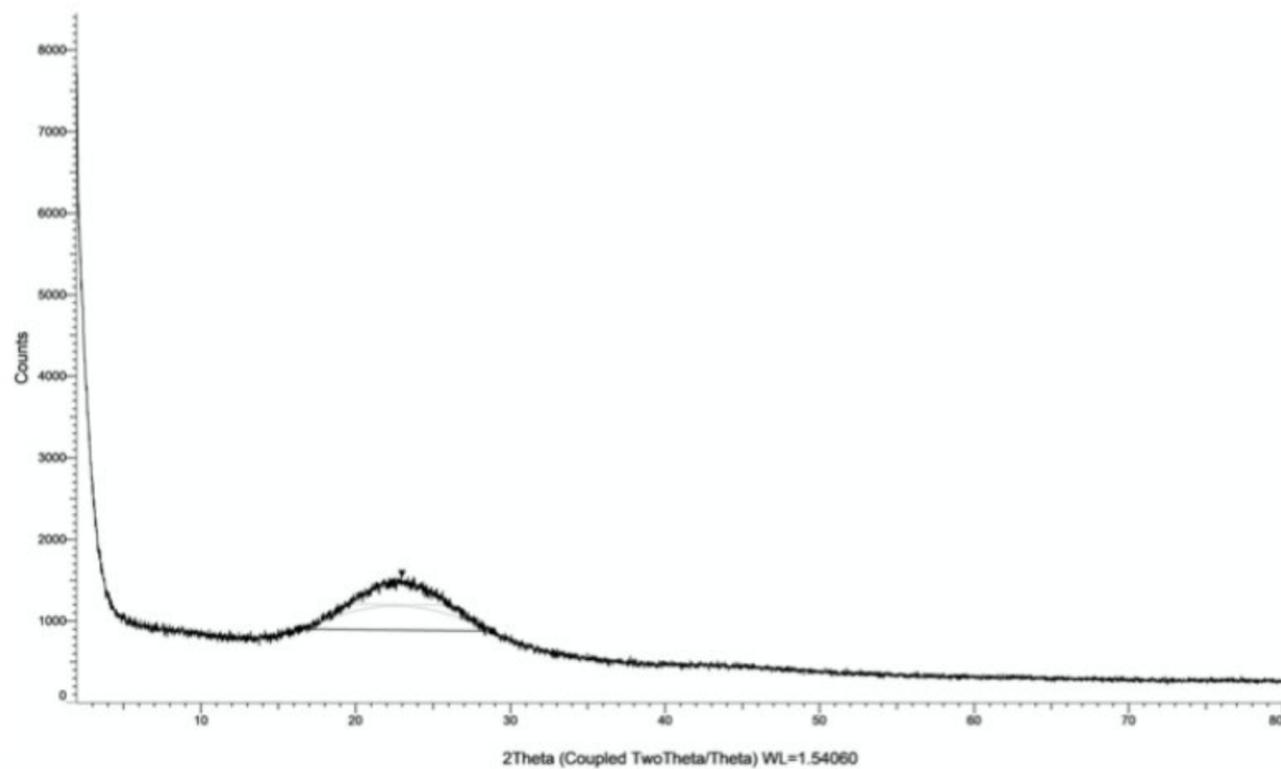


3) Biochar/Fe₃O₄/pH 12



b) Instrumen XRD

1) Biochar teraktivasi



Area List #1

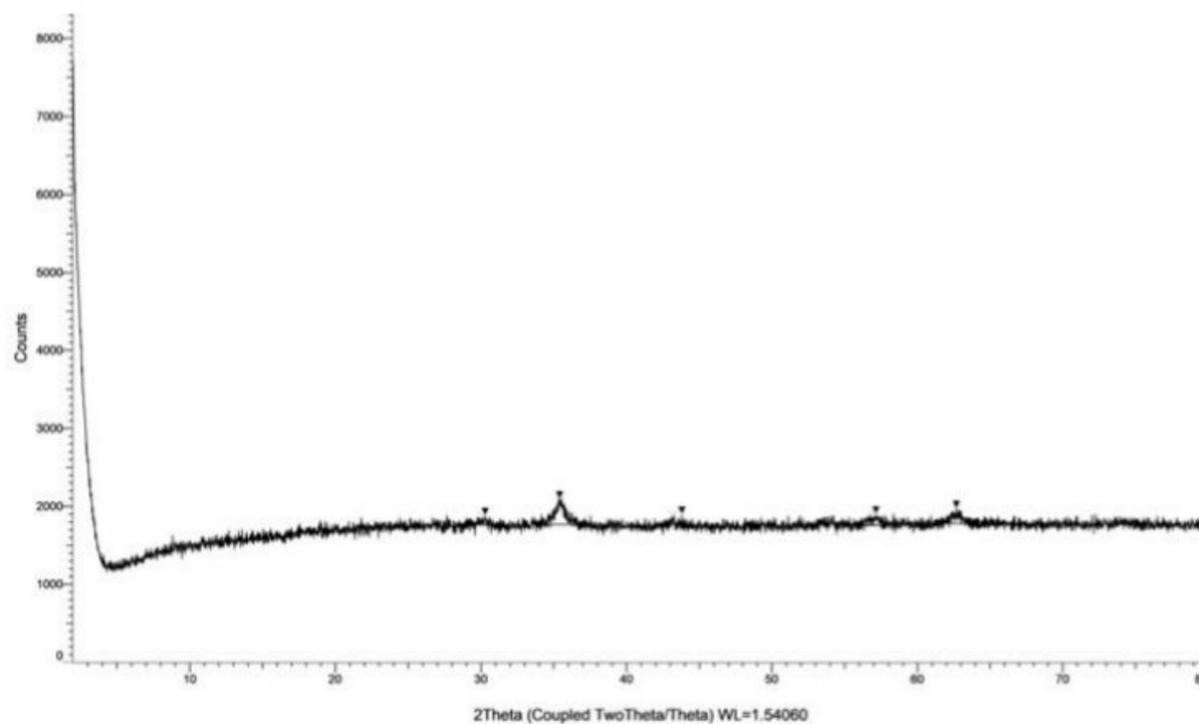
Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Left Angle
Yes			1	[16.384 ° - 28.815 °]	Area List #1	07700623-1 Biochar B5.raw #1	16.384 °

Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM	Chord Mid.
28.815 °	13.7	13.3	22.991 °	3.86516 Å	23.1	9.56	6.522	22.774 °

d (Chord Mid.)	I. Breadth	Gravity C.	d (Gravity C.)	Raw Area	Net Area	C. Size	K	Instr. Width
3.90153 Å	6.457	22.787 °	3.89928 Å	229.7	61.70	13.8 Å	1.000	0.000

Use I. Breadth
No

2) Biochar/Fe₃O₄/pH 10



Area List #1

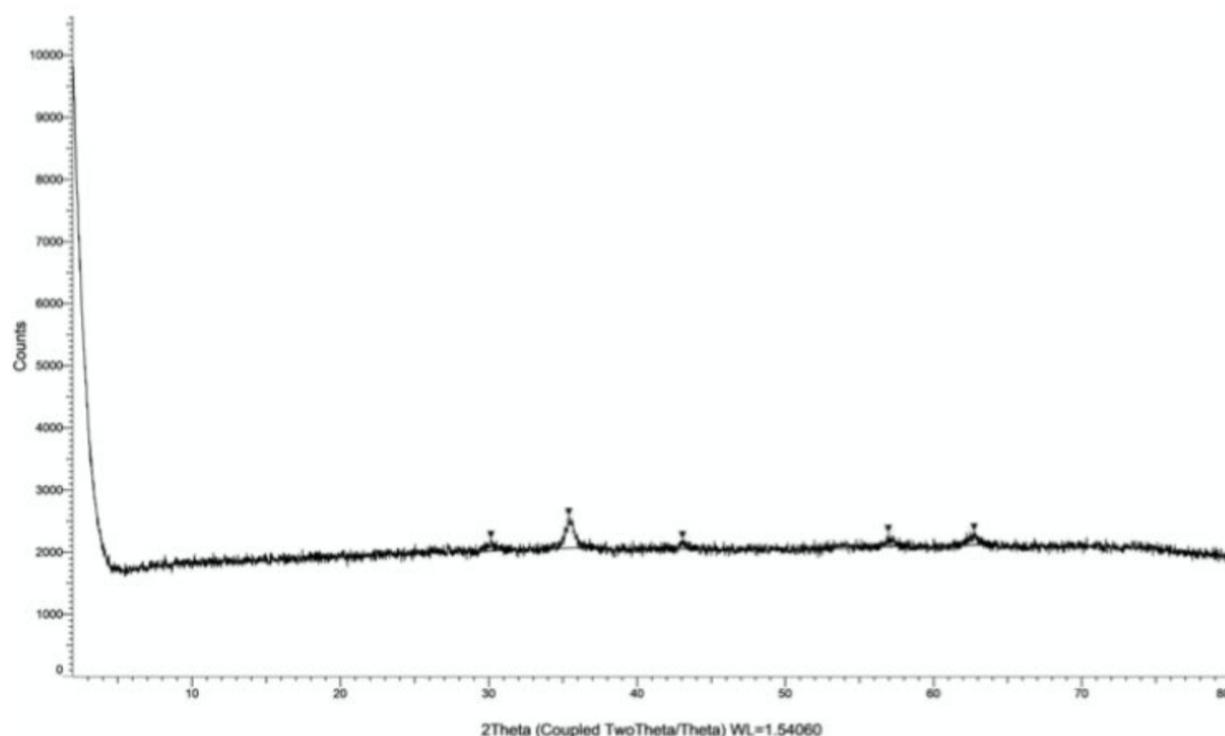
Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Left Angle
Yes			5	[29.140 ° - 31.131 °]	Area List #1	07610623-1 Biochar B1.raw #1	29.140 °
Yes			1	[33.934 ° - 36.920 °]	Area List #1	07610623-1 Biochar B1.raw #1	33.934 °
Yes			4	[42.730 ° - 43.827 °]	Area List #1	07610623-1 Biochar B1.raw #1	42.730 °
Yes			3	[55.994 ° - 57.721 °]	Area List #1	07610623-1 Biochar B1.raw #1	55.994 °
Yes			2	[61.316 ° - 63.835 °]	Area List #1	07610623-1 Biochar B1.raw #1	61.316 °

Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM	Chord Mid.
31.131 °	27.0	26.7	30.278 °	2.94950 Å	28.6	1.69	0.789	30.162 °
36.920 °	27.0	26.9	35.417 °	2.53244 Å	31.8	4.87	0.742	35.444 °
43.827 °	27.0	27.0	43.805 °	2.06497 Å	28.8	1.75	0.592	43.517 °
57.721 °	26.7	26.8	57.151 °	1.61045 Å	28.9	2.07	0.836	57.042 °
63.835 °	27.2	27.1	62.700 °	1.48058 Å	29.9	2.79	0.570	62.637 °

d (Chord Mid.)	I. Breadth	Gravity C.	d (Gravity C.)	Raw Area	Net Area	C. Size	K	Instr. Width
2.96057 Å	0.347	30.072 °	2.96926 Å	54.10	0.5865	115.9 Å	1.000	0.000
2.53054 Å	0.832	35.452 °	2.52999 Å	84.48	4.053	124.9 Å	1.000	0.000
2.07799 Å	0.104	43.227 °	2.09126 Å	29.81	0.1827	160.7 Å	1.000	0.000
1.61325 Å	0.703	56.957 °	1.61547 Å	47.69	1.451	120.2 Å	1.000	0.000
1.48193 Å	0.641	62.717 °	1.48022 Å	70.21	1.788	181.2 Å	1.000	0.000

Use I. Breadth
No

3) Biochar/Fe₃O₄/pH 12



Area List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Left Angle
Yes	||	■	2	[28.937 ° - 31.355 °]	Area List #1	07820623-1 Biochar 32.raw #1	28.937 °
Yes	||	■	1	[33.873 ° - 36.941 °]	Area List #1	07820623-1 Biochar 32.raw #1	33.873 °
Yes	||	■	3	[42.385 ° - 43.908 °]	Area List #1	07820623-1 Biochar 32.raw #1	42.385 °
Yes	||	■	4	[56.258 ° - 57.904 °]	Area List #1	07820623-1 Biochar 32.raw #1	56.258 °
Yes	||	■	5	[61.621 ° - 63.713 °]	Area List #1	07820623-1 Biochar 32.raw #1	61.621 °

Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM
31.355 °	30.4	31.2	30.148 °	2.96192 Å	33.6	2.76	0.783
36.941 °	31.3	31.7	35.395 °	2.53395 Å	39.2	7.67	0.606
43.908 °	31.2	31.6	43.066 °	2.09871 Å	33.5	2.11	0.456
57.904 °	31.8	32.0	56.953 °	1.61557 Å	35.1	3.21	0.394
63.713 °	32.2	32.4	62.751 °	1.47952 Å	35.4	3.12	0.617

Chord Mid.	d (Chord Mid.)	I. Breadth	Gravity C.	d (Gravity C.)	Raw Area	Net Area	C. Size
30.076 °	2.96890 Å	0.538	30.098 °	2.96671 Å	75.96	1.482	116.7 Å
35.448 °	2.53031 Å	0.725	35.448 °	2.53025 Å	102.2	5.556	152.9 Å
43.107 °	2.09677 Å	0.343	43.168 °	2.09398 Å	48.58	0.7228	208.0 Å
57.086 °	1.61211 Å	0.413	57.057 °	1.61286 Å	53.80	1.328	254.9 Å
62.768 °	1.47916 Å	0.610	62.678 °	1.48105 Å	69.50	1.901	167.7 Å

K	Instr. Width	Use I. Breadth
1.000	0.000	No

Name and formula

Reference code: 00-019-0629
 Mineral name: Magnetite, syn
 PDF index name: Iron Oxide
 Empirical formula: Fe₃O₄
 Chemical formula: Fe₊₂Fe₊₃O₄

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
 Space group: Fd-3m
 Space group number: 227
 a (Å): 8.3960
 b (Å): 8.3960
 c (Å): 8.3960
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Calculated density (g/cm³): 5.20
 Measured density (g/cm³): 5.18
 Volume of cell (10⁶ pm³): 591.86
 Z: 8.00
 RIR: 4.90

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Alloy, metal or intermetallic
 Corrosion
 Common Phase
 Educational pattern
 Forensic
 NBS pattern
 Pigment/Dye
 Quality: Star (S)

Comments

Color: Black
 General comments: Other data 25-1376.
 Opaque mineral optical data on specimen from Braastad, Norway: RR₂R_e=20.1, Disp.=16, VHN₁₀₀=592, Color values=.311, .314, 20.1, Ref.: IMA Commission on Ore Microscopy QDF.
 Sample source: Sample obtained from the Columbian Carbon Co., New York, NY, USA.
 Analysis: Spectrographic analysis showed the following major impurities: 0.01 to 0.1% Co, 0.001 to 0.01% Ag, Al, Mg, Mn, Mo, Ni, Si, Ti and Zn.
 Optical data: B=2.42
 Additional pattern: To replace 11-614.
 See also 26-1136.

See ICSD 20596 (PDF 72-2303); See ICSD 27898 (PDF 74-1909); See ICSD 29129 (PDF 75-449); See ICSD 31157 (PDF 75-1610); See ICSD 36314 (PDF 76-1849); See ICSD 30860 (PDF 75-1372); See ICSD 65338 (PDF 79-416); See ICSD 65340 (PDF 79-418); See ICSD 65341 (PDF 79-419); See ICSD 68181 (PDF 80-389); See ICSD 68182 (PDF 80-390); See ICSD 75627 (PDF 82-1533).

Unit cell:
Temperature:

a=8.3967 refined in 1975.
Pattern taken at 25 C.

References

Primary reference:
Optical data:

Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 255, 31, (1967)
Dana's System of Mineralogy, 7th Ed. 1, 698

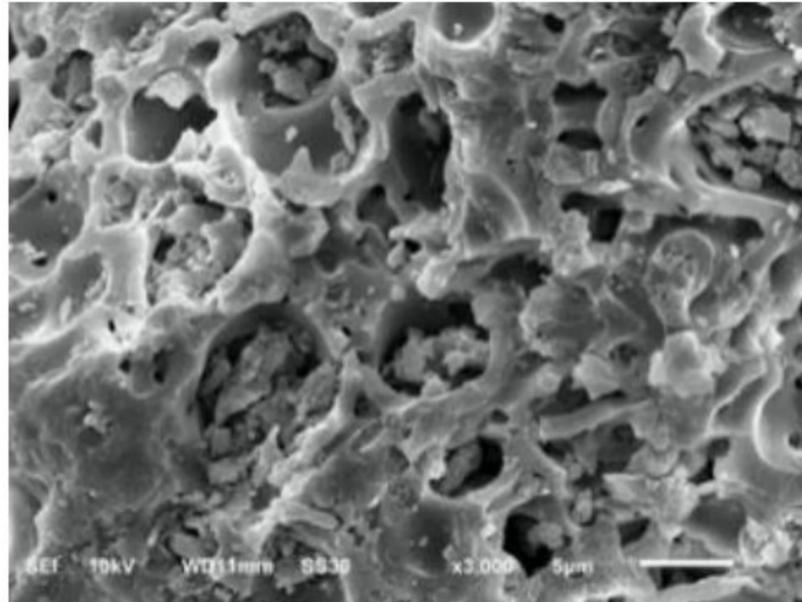
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	4.85200	18.270	8.0
2	2	2	0	2.96700	30.095	30.0
3	3	1	1	2.53200	35.423	100.0
4	2	2	2	2.42430	37.053	8.0
5	4	0	0	2.09930	43.053	20.0
6	4	2	2	1.71460	53.392	10.0
7	5	1	1	1.61580	56.944	30.0
8	4	4	0	1.48450	62.516	40.0
9	5	3	1	1.41920	65.745	2.0
10	6	2	0	1.32770	70.926	4.0
11	5	3	3	1.28070	73.950	10.0
12	6	2	2	1.26590	74.962	4.0
13	4	4	4	1.21190	78.931	2.0
14	6	4	2	1.12210	86.704	4.0
15	7	3	1	1.09300	89.620	12.0
16	8	0	0	1.04960	94.428	6.0
17	6	6	0	0.98960	102.228	2.0
18	7	5	1	0.96950	105.222	6.0
19	6	6	2	0.96320	106.209	4.0
20	8	4	0	0.93880	110.273	4.0
21	6	6	4	0.89520	118.741	2.0
22	9	3	1	0.88020	122.124	6.0
23	8	4	4	0.85690	128.038	8.0
24	10	2	0	0.82330	138.659	4.0
25	9	5	1	0.81170	143.244	6.0
26	10	2	2	0.80800	144.857	4.0

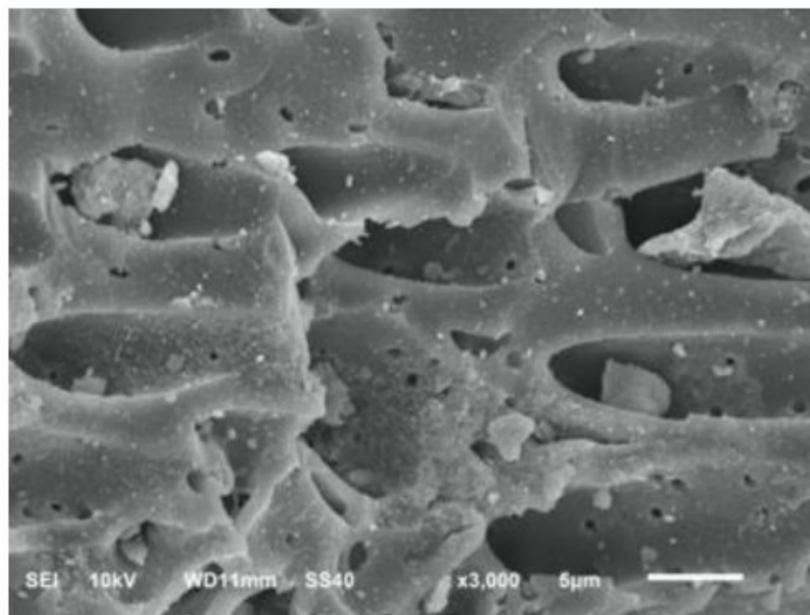
Stick Pattern

c) Instrumen SEM-EDX

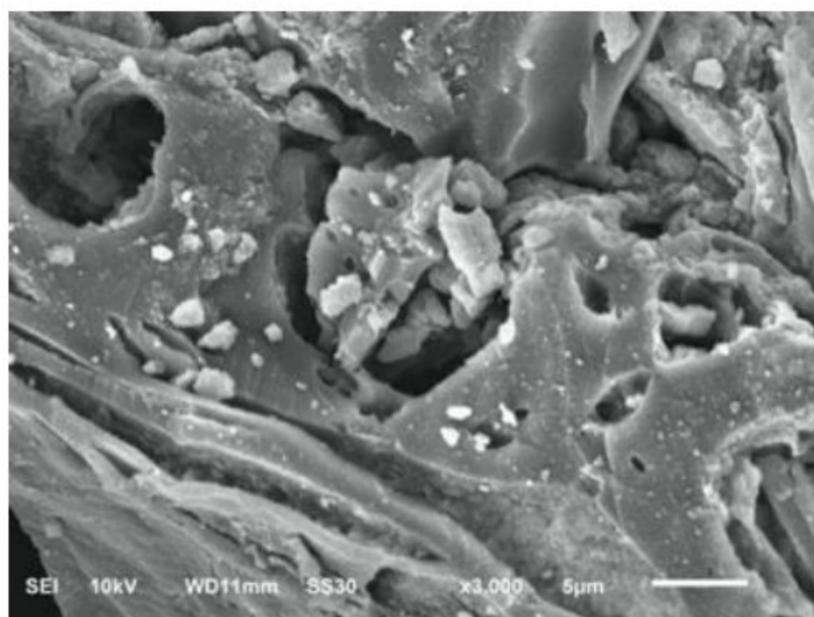
1) *Biochar* teraktivasi



2) *Biochar/Fe₃O₄/pH 10*



3) *Biochar/Fe₃O₄/pH 12*



e) DOKUMEN PENELITIAN



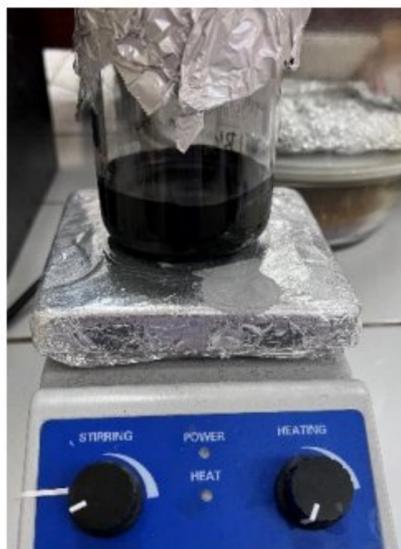
Sampel Sekam Padi



Biochar (hasil furnace)



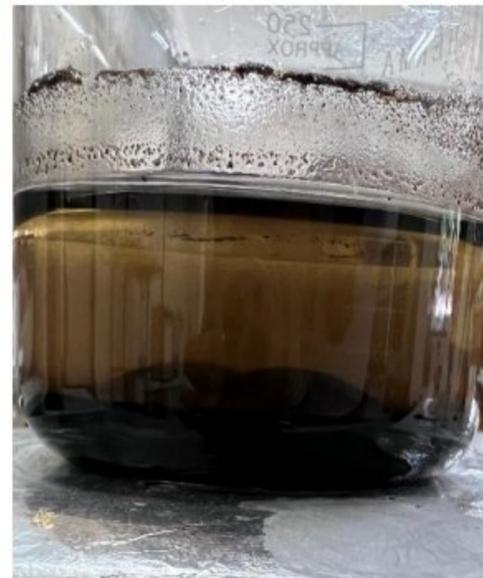
Biochar setelah dihaluskan



Proses aktivasi



Proses modifikasi Fe_3O_4



Setelah penambahan NaOH



Proses penetralan dengan aquades



Hasil *biochar*/ Fe_3O_4



Pengecekan sifat magnetik *biochar*



Proses *stirrer* pada adsorpsi ion logam tembaga (Cu^{2+})



Pemisahan residu dan filtrat setelah adsorpsi



Filtrat yang diperoleh pada proses adsorpsi ion logam tembaga (Cu^{2+})