

**PENGARUH VARIASI MASSA *BIOCHAR* DARI KULIT  
SINGKONG (*Manihot esculenta* Crantz) TERMODIFIKASI  
 $Fe_3O_4$  TERHADAP ADSORPSI LIMBAH *METHYLENE BLUE***

**Skripsi**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai  
gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Islam Indonesia**

**Yogyakarta**



**Diajukan Oleh:**

**TUTI DAMAYANTI**

**No Mhs : 16612037**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2020**

**PENGARUH VARIASI MASSA *BIOCHAR* DARI KULIT  
SINGKONG (*Manihot esculenta* Crantz) TERMODIFIKASI  
 $Fe_3O_4$  TERHADAP ADSORPSI LIMBAH *METHYLENE BLUE***

**SKRIPSI**

Yang diajukan oleh:

**TUTI DAMAYANTI**  
**No MHS : 16612037**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi  
Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia  
Tanggal : 12 Mei 2020

Dewan Penguji

1. Argo Khoirul Anas, S.Si., M.Sc.
2. Ika Yanti, S.Si., M.Sc.
3. M. Miqdam Musawwa, S.Si., M.Sc.
4. Habibi Hidayat, S.Pd., M.Si.

Tanda Tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia



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

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim, sudah jauh perjalanan skripsi ini saya mulai dari awal hingga sekarang. Dimulai pada pergantian dosen pembimbing, nge lab, pembuatan proposal skripsi, sempro, masa penelitan yang tidak sebentar, jatuh bangun nge lab, mood yang tidak selalu stabil, dan data data yang tidak seperti diharapkan. Alhamdulillah semua sudah terlewati dan berkat segala dukungan dari orang orang tercinta skripsi ini dapat terwujud. Seneng banget rasanya hehe.

Dengan ini saya persembahkan skripsi ini untuk mama dan bapak yang selalu semangat dalam setiap proses hidup saya. Terimakasih sudah merawat anak nakal ini dan selalu memberikan asupan makanan dan dana untuk menyelesaikan pendidikan saya. Terimakasih juga buat kakak kakak ku yang selalu nyuruh aku wisuda cepet cepet tapi gimana ya nyaman tau jadi mahasiswa Terimakasih juga kepada pak argo dan bu ika sebagai pembimbing skripsi saya, maaf kalau saya bawel, nanya nanya mulu hehe, terimakasih sudah membagi ilmu pengetahuan ibu bapak kepada saya.

Terimakasih juga kepada sirkel “TEMAN” yang terdiri dari Berli, Afrida, Iimi, dan Nisa. Pengisi kehidupan saya di perkuliahan selama beberapa semester terakhir. Nemenin ngerjain, nemenin nongkrong, masak masak bareng, makan bareng, jalan jalan, olahraga, bergabut ria bersama. Semuanya deh pokoknya luv buat kalian.

Terimakasih buat Cukwan juga teman yang dari awal kuliah sampai akhir tapi rada ada jarak karena kesibukan dan beda pembimbing. Tapi selalu ada kalo dibutuhkan hehe luv cuk.

Terimakasih juga buat teman teman kelas A dan angkatan yang berbagi cerita jatuh bangun nge labnya yang bisa membuat kita saling menyemangati huhu. Semangat ya semua akan indah pada waktunya.

Terimakasih juga buat teman seperjuangan ngelab, penelitian dan skripsi yaitu Nisa dan Mifta. Akhirnya selesai juga ya hehe makasih atas kerjasama dan lelahnya. Terakhir terimakasih kepada Allah karena selalu memberikan kesehatan dan akal sehingga saya berhasil membahas skripsi ini.

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Tuti Damayanti

NIM : 16612037

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul **Pengaruh Variasi Massa Biochar Dari Kulit Singkong (*Manihot esculenta Crantz*) Termodifikasi  $Fe_3O_4$  Terhadap Adsorpsi Limbah *Methylene Blue*** bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan didalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulisan lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

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

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 12 Mei 2020

Yang menyatakan



Tuti Damayanti

NIM. 16612037

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta karunia-Nya yang tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Massa *Biochar* Dari Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Termodifikasi  $Fe_3O_4$  Terhadap Adsorpsi Limbah *Methylene Blue*”. Keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dorongan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati pada kesempatan ini izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Prof. Riyanto, M.Si., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Dwiwarso Rubiyanto, S.Si., M.Si, selaku Ketua Program Studi Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Argo Khoirul Anas, S.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing I yang dengan tulus memberikan motivasi.
5. Ibu Ika Yanti, S.Si., M.Sc selaku dosen pembimbing II yang dengan tulus memberikan motivasi.
6. Mas Tohari dan mba Isna selaku laboran yang dengan tulus selalu membantu.
7. Orang tua, keluarga yang selalu mendukung dan memberikan motivasi.
8. Sahabat dan teman seperjuangan yang senantiasa sabar, saling mengingatkan dan memberikan motivasi.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar kedepannya Skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagai ilmu pengetahuan bagi para pembaca.

Sekian, Terima Kasih, Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 27 Mei 2020

Penulis



**PENGARUH VARIASI MASSA *BIOCHAR* DARI KULIT  
SINGKONG (*Manihot esculenta* Crantz) TERMODIFIKASI  
 $Fe_3O_4$  TERHADAP ADSORPSI LIMBAH *METHYLENE BLUE***

**INTISARI**

**Tuti Damayanti**

**16612037**

*Methylene blue* (MB) adalah salah satu zat warna yang sering digunakan pada industri. Setiap penggunaannya akan menghasilkan limbah, limbah tersebut perlu diolah agar sesuai dengan peraturan Kep51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair konsentrasi maksimum MB yang diperbolehkan, yaitu 5-10 mg/L. Telah dilakukan penelitian adsorpsi *methylene blue* dengan menggunakan *biochar* dari kulit singkong termodifikasi  $Fe_3O_4$  yang didasarkan pada variasi massa. Penelitian ini dilakukan sintesis *biochar* kulit singkong dengan prekursor  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  dan  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  sebagai bahan pembentuk  $Fe_3O_4$ . Hasil *biochar/Fe\_3O\_4* dianalisis menggunakan instrumen FTIR, XRD dan SEM-EDX. Didapatkan bahwa muncul puncak serapan FTIR pada bilangan gelombang 549,75  $cm^{-1}$  milik vibrasi Fe-O. Kemudian pada hasil XRD didapatkan puncak yang menunjukkan pola difraksi partikel magnet fasa  $Fe_3O_4$ . Serta morfologi permukaan *biochar/Fe\_3O\_4* diketahui bahwa tertempel gumpalan-gumpalan kecil milik  $Fe_3O_4$ . Diperkuat dengan data EDX yang menunjukkan kandungan tertinggi dari *biochar/Fe\_3O\_4* adalah besi. Adsorpsi *methylene blue* menggunakan variasi massa *biochar/Fe\_3O\_4* 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; dan 0,1 gram memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 31,0721; 15,5329; 10,3490; 7,7525; 6,2040 mg/g. Kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada massa adsorben sebesar 0,02 gram. Memiliki nilai daya adsorpsi sebesar 99,4307 %.

**Kata Kunci:** Adsorpsi, *Methylene blue*, *Biochar*, Impregnasi

**THE EFFECT OF BIOCHAR MASS VARIATION FROM  
CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) MODIFIED Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ON  
ADSORPTION OF METHYLENE BLUE WASTE**

**ABSTRACT**

**Tuti Damayanti**

**16612037**

Methylene blue is one of the dyes that are often used in industry. Each use will produce waste, the waste needs to be treated to comply with Kep51 / MENLH / 10/1995 regulations regarding the maximum permissible liquid waste methylene blue quality standard of 5-10 mg/L. A methylene blue adsorption study using biochar from Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> modified cassava peel was based on mass variation. This research was carried out by biochar synthesis of cassava peel with FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O and FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O as precursors for Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. The results of biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> were analyzed using the FTIR, XRD and SEM-EDX instruments. It was found that the FTIR absorption peak appeared at the wave number 549,75 cm<sup>-1</sup> belonging to the Fe-O vibration. And the XRD results obtained peaks that show the diffraction pattern of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> phase magnetic particles. Whereas the surface morphology of biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> is known to have small clumps belonging to Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Reinforced with EDX data that shows the highest content of biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> is iron. Adsorption of methylene blue using 0.02 biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> mass variation; 0,04; 0,06; 0,08; and 0,1 gram has an adsorption capacity value of 31,0721; 15,5329; 10,3490; 7,7525; 6,2040 mg/g. The maximum adsorption capacity occurs at the mass of the adsorbent of 0.02 grams. With an adsorption power value of 99,4307 %.

Keywords : Adsorption, Methylene Blue, Biochar, Impregnation



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
INTISARI.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III DASAR TEORI .....	8
3.1 Kulit Singkong .....	8
3.2 Biochar .....	9
3.3 <i>Methylene blue</i> (MB).....	10
3.4 Besi (III) Oksida [ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ].....	10
3.5 Adsorpsi.....	12
3.6 Impregnasi Basah .....	13
3.7 X-Ray Diffraction (XRD).....	14
3.8 <i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDX).....	16
3.9 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	17
3.10 Spektrofotometer UV-Vis .....	19
BAB IV METODE PENELITIAN .....	21
4.1 Alat .....	21
4.2 Bahan.....	21

4.3 Cara Kerja.....	21
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
5.1 <i>Biochar</i> Termodifikasi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	24
5.2 Karakterisasi <i>Biochar</i> .....	25
5.3 Analisis Panjang Gelombang Maksimum <i>Methylene blue</i> .....	31
5.4 Pembuatan Larutan standard dan Kurva Kalibrasi.....	32
5.5 Uji Adsorpsi Variasi Massa <i>Biochar</i> Terhadap <i>Methylene blue</i> .....	33
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	38
6.1 Kesimpulan.....	38
6.2 Saran .....	38
DAFTAR PUSTAKA .....	39
Lampiran 1. Perhitungan.....	44
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi.....	56
Lampiran 3. Foto Penelitian.....	59



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kulit Singkong (Sumber: pribadi).....	9
Gambar 2. Struktur <i>Methylene blue</i> (sumber : Nworie, 2019).....	10
Gambar 3. Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia (sumber: Botahala, 2019).....	12
Gambar 4. Pembentukan sinar-X (Sumber: Setiabudi, 2012).....	15
Gambar 5. a) Skema instrument SEM yang disederhanakan, b) skema instrumen SEM yang lebih detail (sumber: Setiabudi,2012) .....	17
Gambar 6. Diagram Spektrofotometer Inframerah Berkas Rangkap (Sumber: Setiabudi, 2012) .....	19
Gambar 7. Biochar/ $Fe_3O_4$ ditarik Magnet.....	25
Gambar 8. Spektra FTIR dari sampel <i>biochar</i> dan <i>biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> .....	26
Gambar 9. Pola difraksi sampel a.) <i>Biochar</i> dan b.) <i>Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> .....	28
Gambar 10. Struktur Morfologi perbesaran 5000 kali a) <i>Biochar</i> dan b) <i>Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> .....	29
Gambar 11. Spektrum Electron Dispersive X-ray sampel a) <i>Biochar</i> dan b) <i>Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> .....	30
Gambar 12. Panjang Gelombang Maksimum <i>Methylene blue</i> .....	32
Gambar 13. Kurva Kalibrasi 1 dan 2 .....	33
Gambar 14. Kurva Kapasitas Adsorpsi <i>Biochar</i> dan <i>Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> .....	35
Gambar 15. Kurva % Adsorpsi <i>Biochar</i> dan <i>Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> .....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia (Botahala,2019).....	13
Tabel 2. Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi dari Biochar dan Biochar/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	27
Tabel 3. Kandungan Unsur dalam Sampel Biochar dan Biochar/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	30
Tabel 4. Absorbansi Larutan Standar.....	32
Tabel 5. Nilai Absorbansi dan Konsentrasi Sampel Biochar dan Biochar/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .	34
Tabel 6. Daya Adsorpsi Biochar dan Biochar/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	37



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Semakin meningkatnya pertumbuhan industri tekstil maka semakin ketat persaingan antar produsen dalam penjualan produk, sehingga setiap produsen membutuhkan inovasi-inovasi terbaru dari produk yang dikeluarkan dapat berupa keindahan, corak, dan warna yang menarik. Dari tampilan setiap produk dapat membuat pembeli terpukau sehingga memilih produk itu sendiri. Dalam industri terkenal 2 macam zat warna yaitu zat warna alami dan sintesis. Zat warna alami bisa didapat dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, batang, kulit dan buah. Menurut Yernisa (2013) zat warna alami cenderung aman, tidak toksik, dapat diperbaharui dan ramah lingkungan.

Zat warna sintesis dalam tekstil merupakan turunan hidrokarbon aromatik seperti benzene, toluene, naftalena dan antrasena. Sifat zat warna sintesis lebih stabil dibandingkan zat warna alam (Laksono, 2012) keunggulan dari zat pewarna sintesis dibandingkan dengan zat pewarna alam yaitu antara lain, mudah diperoleh, harga ekonomis, ketersediaan warna terjamin, jenis warna beragam, lebih praktis serta mudah digunakan dan daya mewarnainya lebih kuat serta memiliki rentang warna yang lebih luas serta tidak mudah luntur dan berwarna cerah (Hadayani et al., 2015; Suarsa et al, 2011)

Kelebihan tersebut meningkatkan penggunaan zat warna sintesis pada industri tekstil. Menurut Hughes (2008) sekitar 10.000 jenis pewarna digunakan pada industri tekstil dan lebih dari  $7 \times 10^5$  ton bahan pewarna diproduksi setiap tahunnya. Selama proses pewarnaan, 10–15 % dari zat warna tekstil yang digunakan akan terbuang bersama limbah. Limbah pewarna sintesis dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan merupakan bahan berbahaya, karena beberapa pewarna dapat terdegradasi menjadi senyawa yang bersifat karsinogenik dan beracun (Widjajanti et al, 2011).

Selanjutnya menurut Kant (2012) menyatakan bahwa bercampurnya material koloid dengan limbah pewarna, dapat meningkatkan kekeruhan dan menjadikan air berpenampilan buruk, berbau, mencegah penetrasi sinar matahari. Dampak yang ditimbulkan adalah penipisan oksigen terlarut, kualitas perairan menurun dan kematian makhluk hidup yang tinggal di dalamnya karena kekurangan oksigen atau terkontaminasi senyawa beracun (Widjajanti et al, 2011). Di samping itu ketika limbah dibiarkan mengalir akan menyumbat pori pori tanah yang berakibat pada hilangnya produktivitas tanah, tekstur tanah mengeras dan mencegah penetrasi akar tumbuhan (Kant, 2012).

Salah satu zat warna sintesis yang sering digunakan adalah *Methylene blue* (MB) yang mana dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit (Hamdaoui, 2006). Berdasarkan hal tersebut MB termasuk limbah cair yang kadar diperbolehkan di lingkungan relatif rendah. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair konsentrasi maksimum *methylene blue* yang diperbolehkan yaitu 5-10 mg/L. Rendahnya kadar konsentrasi tersebut dibutuhkan pengolahan secara khusus agar limbah zat warna aman untuk dibuang ke lingkungan.

Pengolahan limbah zat warna bisa dilakukan dengan berbagai metode seperti koagulan, elektrolisis, fotokatalis, dan adsorpsi. Di antara metode ini, adsorpsi merupakan teknik yang telah terbukti efektif dan menarik untuk pengolahan limbah cair yang mengandung pewarna (Maulinda et al., 2015) . Metode adsorpsi adalah metode untuk mengolah limbah cair karena dapat menyerap kandungan kandungan berbahaya dalam limbah dan metode ini dapat dilakukan secara sederhana, serta mudah (Hadayani et al., 2015). Metode ini hanya memerlukan adsorben dan adsorbat. Adsorben adalah zat penyerap, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap (Giyatmi, 2008). *Bio charcoal* atau biasa disebut *biochar* dapat digunakan sebagai adsorben alami. *Biochar* adalah zat berbutir halus dan berpori, mirip dengan arang yang dihasilkan oleh pirolisis (Agrafiotti et al., 2013). *Biochar* memiliki

banyak keunggulan sebagai adsorben: luas permukaan spesifik yang besar, struktur mikro, gugus fungsi aktif dan pH tinggi (Chen dan Lin, 2001)

Menurut Agrafioti et al. (2013) *biochar* dibuat pada suhu pemanasan yang tidak terlalu tinggi berkisar pada suhu 300-500 °C yang membuat *biochar* cenderung lebih murah dan ramah lingkungan. Bahan pembuatan *biochar* yang sedang banyak diteliti ialah limbah pertanian dan kehutanan seperti gandum jerami, tongkol jagung, kacang tanah, dan tebang pinus (Lal, 2004; Wilhelm et al., 2004). *Biochar* yang berasal dari limbah pertanian dapat menanggulangi permasalahan limbah padat pada lingkungan dan menekan biaya produksi (Fitriani et al., 2015).

Di Indonesia limbah pertanian yang cukup banyak ditemui salah satunya adalah kulit singkong. Menurut Richana (2013) kandungan kulit singkong ialah protein, selulosa, lemak, pati (*starch*), serat, dan HCN. Dari kandungan tersebut terutama selulosa dapat membuat kulit singkong dijadikan sebagai bahan baku *biochar*. Permukaan *biochar* yang memiliki gugus negatif dapat digunakan dalam mengadsorpsi zat warna yang memiliki gugus positif salah satunya MB (Spiff et al, 2004).

Menurut Fisli et al. (2018) proses adsorpsi terkadang terhalang pada pemisahan adsorben dengan larutan. Serta penerapannya kurang efektif dan tidak ekonomis untuk volume limbah yang besar. Untuk itu diperlukan pengembangan agar teknologi penerapannya lebih sederhana. Teknologi yang banyak diteliti saat ini adalah teknologi magnet yang dapat diterapkan dalam aplikasi lingkungan untuk membantu proses pemisahan. Dengan melakukan penggabungan antara *biochar* dan material magnetit menghasilkan bahan komposit baru yang mempunyai dua sifat yaitu; sifat adsorpsi dan sifat magnet.

Sifat magnet ini dimanfaatkan dalam proses pemisahan partikel komposit dalam air dengan menggunakan batangan magnet sederhana. Keuntungan pemisahan secara magnet ini lebih mudah, sederhana, cepat dan efisien dalam mengambil kembali adsorben dari cairan limbah (Polshettiwar, 2011; Sivashankar, 2014) Penggunaan teknologi magnet dalam membantu proses pemisahan adsorben

dalam air, yaitu; kitosan/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Li, 2015),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /karbon aktif (Wardiyati, 2011), dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  /zeolit (Jahangirian, 2013).

Berdasarkan pemaparan tersebut maka perlu dilakukan pengembangan penelitian mengenai pengurangan konsentrasi limbah MB agar aman terhadap lingkungan dengan cara yang lebih mudah. Hal ini membuat peneliti melakukan penelitian pembuatan *biochar* dari kulit singkong yang dimodifikasi dengan material magnetit untuk mengadsorpsi limbah zat warna MB melalui metode impregnasi basah dengan menggunakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dan penelitian ini lebih terfokus pada hubungan antara kemampuan adsorpsi MB dengan adanya variasi massa adsorben.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diketahui permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana proses pembuatan komposit *biochar*/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ?
2. Bagaimana hasil karakterisasi komposit *biochar*/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ?
3. Bagaimana pengaruh variasi massa *biochar*/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap adsorpsi limbah MB?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui proses pembuatan komposit *biochar*/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
2. Mengetahui hasil karakterisasi komposit *biochar*/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
3. Mengetahui pengaruh variasi massa *biochar*/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap adsorpsi limbah MB.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan ilmu pengetahuan mengenai pengembangan *biochar* dari kulit singkong.
2. Menambah wawasan mengenai proses adsorpsi limbah *methylene blue*.
3. Memberikan inovasi terhadap cara pengolahan limbah *methylene blue*.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

*Biochar* merupakan suatu zat padat yang dapat digunakan untuk menyerap komponen tertentu dari suatu fasa fluida. Dalam awal pengembangannya *biochar* banyak digunakan untuk membantu proses penyuburan tanah kemudian berkembang menjadi suatu bahan yang digunakan untuk menyerap atau adsorpsi limbah logam maupun zat warna. Dari beberapa penelitian sebelumnya diketahui bahwa *Biochar* telah banyak dibuat dari bahan-bahan alam seperti kayu, jerami jagung (X. Chen et al., 2011), sekam padi (Jiang et al., 2012), dan limbah lumpur.

Pada penelitian (Tong et al., 2011) dilakukan perbandingan kapasitas adsorpsi *biochar* dari sisa tanaman antara tanaman canola, kedelai, sekam padi dan kacang yang dibuat dengan metode pirolisis pada suhu 350 °C untuk mengadsorpsi zat warna metil violet. Dari penelitian ini diketahui bahwa *biochar* dari sisa tanaman memiliki kemampuan untuk menghilangkan metil violet dari air limbah dengan kapasitas adsorpsi canola, kacang dan jerami kedelai lebih besar daripada arang sekam padi. Dimana percobaan menunjukkan bahwa 156 g arang sekam padi hampir sepenuhnya menghilangkan metil violet dari 18,2 L air yang mengandung 1,0 mmol / L metil violet.

Menurut penelitian (Agrafioti et al., 2013) *biochar* dari limbah lumpur diimpregnasi  $K_2CO_3$  dan  $H_3PO_4$  untuk meningkatkan kelarutan logam berat tertentu. Didapatkan bahwa *biochar* yang diimpregnasi dengan  $K_2CO_3$  melepaskan 85,7 % dari kandungan potasiumnya, sedangkan ortofosfat terikat kuat dalam *biochar* yang diimpregnasi dengan  $H_3PO_4$ . Dan *biochar* tanpa modifikasi lebih efektif untuk menyerap limbah kation dibanding anion dengan menggunakan sampel berupa logam As(V) and Cr(III). *Biochar* dapat menyerap 70 % dari Cr(III), sedangkan hanya 30 % dari As(V) dari larutan.

Kulit singkong telah banyak diteliti penggunaannya sebagai adsorben seperti biosorben logam Fe (Bahri et al., 2017), karbon aktif (Maulinda et al., 2015), Pada penelitian (Bahri et al., 2017) kulit singkong dapat diolah menjadi biosorben untuk

penjernihan air yang mengandung logam Fe. Dengan menggunakan serbuk kulit singkong yang dicuci menggunakan Natrium hipoklorit 2 % yang bertujuan untuk menghilangkan zat warna di dalam kulit ubi kayu. Maka didapatkan bahwa air tanah menjadi lebih jernih setelah ditambahkan biosorben kulit ubi kayu. Kandungan yang dimiliki kulit singkong adalah selulosa, protein, serat, dan HCN. Komponen-komponen tersebut mengandung gugus  $-OH$ ,  $-NH_2$ ,  $-SH$ , dan  $-CN$  yang dapat mengikat logam (Maulinda et al., 2015; Ariyani et al., 2017).

Beberapa penelitian untuk pengolahan *Methylene blue* sudah dilakukan seperti adsorben (Fitriani et al., 2015), arang aktif dan *biochar* (Yang et al., 2016). Pada penelitian Fitriani et al., (2015) *Methylene blue* dapat di degradasi menggunakan adsorben dari kulit pisang. Kandungan dalam Kulit pisang yang diperkirakan berperan dalam adsorpsi zat warna ialah asam galakturonik. Adsorben kulit pisang dipanaskan dalam oven  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 5 jam menghasilkan adsorben berwarna coklat. Dianalisis berat optimum adsorben untuk adsorpsi MB didapat diantara 0,01; 0,03; 0,05; dan 0,1 gram. Berat optimum adsorben sebelum mengalami penjumlahan ialah 0,05 gram. Dan konsentrasi MB optimum adalah 50 mg/L. Model kinetika mengikuti kinetika pseudo orde dua dengan nilai konstanta laju reaksi sebesar 0,097 g/mg menit.

Telah dilakukan penelitian pembuatan besi oksida yang bisa menggunakan berbagai sumber material magnetik yang berasal dari prekursor  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (Lida, 2007),  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Jal, 2004), atau  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (Jiang, 2016). Pada penelitian Fisli et al., (2012) telah dilakukan sintesis pembuatan komposit besi oksida dengan karbon aktif. Menggunakan bahan prekursor  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  menghasilkan Besi oksida magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Prekursor tersebut diaduk menggunakan stirrer dan dicampurkan dengan karbon aktif. Direaksikan pada suhu  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan ditambahkan NaOH. Endapan Fe yang terbentuk merupakan komposit baru dengan karbon aktif. Kemudian dikeringkan pada oven dengan suhu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD, dan VSM. Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel memiliki pola pola difraksi yang mirip dengan data base XRD dari JCPDS No katalog 11-0614 yang

merupakan jenis mineral magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Sedangkan dari hasil *Vibrating Sample Magnetic* (VSM) dan *Brunauer Emmett Teller* (BET) menunjukkan bahwa oksida besi fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  berkelakuan superparamagnetik. Komposit ini akan mudah dikumpulkan hanya dengan menggunakan batang magnet sederhana di dalam larutan air. Pengujian adsorpsi dilakukan dengan menyerap thorium dengan variasi pH dan didapat pada  $\text{pH} > 7$ , kelarutan thorium rendah sehingga dapat terserap secara maksimum. Hasil analisis adsorpsi isothermal dan Langmuir menunjukkan bahwa adanya partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada struktur karbon aktif hampir tidak menurunkan kapasitas adsorpsi Thorium.



## BAB III

### DASAR TEORI

#### 3.1 Kulit Singkong

Singkong merupakan tumbuhan yang banyak ditemukan di Indonesia. Singkong bisa dijadikan makanan pokok bagi masyarakat Indonesia. Hampir semua bagian dari tanaman ini bisa dimanfaatkan, mulai dari daun, batang, dan singkongnya. Daging umbinya berwarna putih atau kekuning-kuningan dan dilapisi oleh kulit ari berwarna putih kemerahan dan kulit berwarna cokelat. Setiap penggunaan singkong akan selalu menyisakan kulit yang tidak terpakai. Kulit singkong adalah limbah agroindustri yang biasa terdapat pada pengolahan ketela seperti industri tepung tapioka, industri fermentasi, dan industri makanan (Ariyani et al., 2017). Berikut adalah klasifikasi dari singkong :

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Divisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Malpighiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: <i>Manihot</i>
Jenis	: <i>Manihot esculenta</i> Crantz

Kandungan kimia yang terdapat pada kulit singkong menurut richana (2013) antara lain air 7,9-10,32%, pati 44-59%, protein 1,5-3,7 %, lemak 0,8-2,1 %, abu 0,2-2,3 %, serat 12,5-27,4 %, Ca 0,42-0,77 %, Mg 0,12-0,24 %, P 0,02-0,10 %, HCN 18,0-309,4 ppm. Kulit singkong dijadikan sebagai *biochar* karena mengandung lignoselulosa yang berpotensi untuk mengadsorpsi limbah kationik (Kosasih dkk., 2010). Lignoselulosa adalah sebutan umum untuk bahan yang terdiri atas hemiselulosa, selulosa dan lignin. Menurut Horsfall dkk. (2006) gugus fungsional utama pada permukaan material lignoselulosa adalah hidroksil, aldehid, karboksilat dan gugus siano. Kulit singkong dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kulit Singkong (Sumber: pribadi)

### 3.2 Biochar

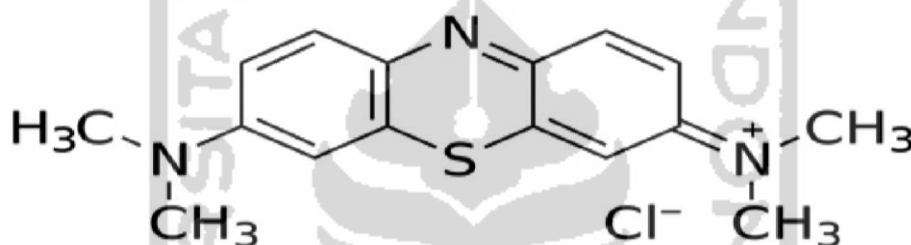
*Biochar* adalah zat berbutir halus dan berpori, mirip dengan arang yang dihasilkan oleh pirolisis biomassa dalam kondisi terbatas oksigen (X. Chen et al., 2011). Variasi dalam proses pirolisis sangat memengaruhi kualitas *biochar* dan potensinya nilai untuk pertanian dalam hal kinerja agronomi atau dalam penyerapan karbon. Proses dan parameter proses, terutama suhu dan waktu tinggal tungku, sangat penting; Namun, sifat-sifat produk akhir juga tergantung pada sifat bahan baku (Sohi et al., 2009)

Menurut (X. Chen et al., 2011) *Biochar* memiliki matriks karbon yang relatif terstruktur dengan tingkat porositas tinggi dan luas permukaan yang luas, menunjukkan hal itu mungkin bertindak sebagai adsorben permukaan yang serupa dalam beberapa aspek dengan karbon aktif dan memainkan peran penting dalam mengendalikan kontaminan di lingkungan. Penggunaan *biochar* teraktivasi untuk adsorpsi dapat dianggap sebagai teknik kontrol yang ramah lingkungan dan menghilangkan racun lingkungan dengan konsentrasi rendah dari media berair seperti air limbah, limbah dan air minum (Nworie et al., 2019)(Nworie et al., 2019).

*Biochar* biasanya membawa muatan negatif bersih pada permukaannya karena disosiasi kelompok fungsional yang mengandung oksigen (Yuan et al., 2011; Inyang et al., 2010), dan karenanya dapat digunakan sebagai biaya rendah adsorben untuk menghilangkan polutan organik dan kation logam berat dari air (Yang dan Sheng, 2003; Qiu et al., 2008; Cao et al., 2009).

### 3.3 Methylene blue (MB)

*Methylene blue* (MB) merupakan zat warna dasar yang sangat penting dan relatif murah dibandingkan dengan pewarna lainnya. Zat warna ini paling sering dipakai dalam industri tekstil, sutra, kayu, wool dan katun (Deng et al., 2011). MB memiliki nama kimia (3,7-bis (dimethylamino)-phenaza thionium tetramethylthionine chloride) dengan rumus kimia berupa  $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$  dan berat molekul 373.9 g/mol. Zat warna ini mempunyai titik lebur yaitu  $105\text{ }^\circ\text{C}$  dan memiliki daya larut sebesar  $4,36 \times 10^4$  mg/L (Nworie et al., 2019). Struktur MB dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur *Methylene blue* (sumber : Nworie, 2019)

Dosis tinggi dari MB dapat menyebabkan mual, muntah, nyeri pada perut dan dada, sakit kepala, keringat berlebihan dan hipertensi (Amirullah, 2006). Begitu terhirup, itu bisa menyebabkan detak jantung meningkat, mual dan muntah (Deng, 2011). Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair, konsentrasi maksimum *methylene blue* yang diperbolehkan yaitu 5-10 mg/L. Limbah ini merupakan limbah kationik sebagai pewarna dasar (Adesina et al., 2019).

### 3.4 Besi (III) Oksida [ $Fe_3O_4$ ]

Magnetit adalah jenis oksida besi dengan formula kimia  $Fe_3O_4$ . Partikel berwarna hitam yang bersifat feromagnetik dengan nilai magnetisasi tertinggi yaitu sebesar 92 emu/g (Retno et al., 2017). Magnetit merupakan oksida besi campuran yang terbentuk dari reaksi antara oksida besi(II) dan besi(III) dimana hasil pencampuran ini memberikan sifat yang unggul dibandingkan oksida besi (II) dan oksida besi (III) masing-masing. Keunggulan yang dimiliki magnetit dibandingkan

oksida besi adalah sifat magnetiknya yang lebih kuat, hal ini yang menyebabkan magnetit populer dikalangan material sains maupun material terapan (Sari, 2017). Pada ukuran bulk-nya, material ini merupakan kelompok bahan ferrimagnetik. Namun, pada ukuran nanometer, material ini menjadi bahan superparamagnetik, dan memiliki sifat-sifat yang lebih baik seperti magnetisasi saturasi yang tinggi (90 emu/gram), biological compatibility, dan environmental stability. Selain itu, pada ukuran dibawah 20 nm dengan morfologi partikel berbentuk bulat, material ini dapat diaplikasikan dengan lebih baik untuk kebutuhan biomedis karena kemampuannya untuk mempengaruhi nilai relaksasi proton pada air (Saragi et al., 2017).

Pengembangan dalam penggunaan magnetit telah mencapai beberapa bidang seperti pada bidang medis, magnetit digunakan sebagai *drug delivery*, terapi hyperthermia, dan *Magnetic Resonance Imageing* (MRI) (Nikitin et al, 2017). Pada bidang industri, magnetit digunakan sebagai katalis, sensor, penyimpan data dalam bentuk hard disk dan pigmen warna. Pada bidang lingkungan, magnetit digunakan sebagai adsorben kontaminan air karena memiliki daya serap yang besar dan kemampuannya dalam merespons medan magnet sehingga memudahkan proses pemisahan adsorben dari dalam larutan (Retno et al., 2017).

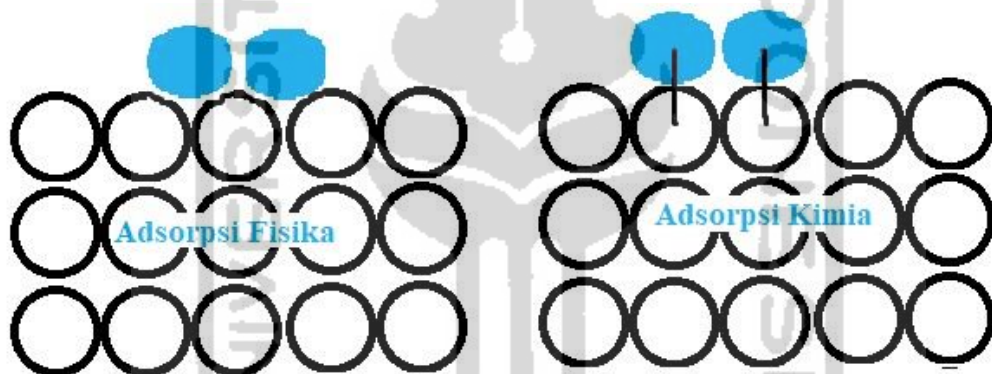
Besi oksida ini memiliki kemampuan membentuk kompleks logam-organik dimana kation logam akan terikat oleh kelompok gugus fungsional seperti -COOH, =CO, -OH, -OCH<sub>3</sub>, -NH<sub>2</sub>, -SH, dan sifatnya sangat stabil yang disebut khelat. Di dalam tanah, besi oksida dapat dibedakan berdasarkan struktur kristal dan sifat lainnya (warna, kelarutan dan perilaku termal (Annisa, 2013).

Adapun prinsip dari adsorpsi ion oleh oksida besi adalah ikatan binuklear yang kuat di permukaan oksida besi. Permukaan oksida Fe yang meliputi: wilayah permukaan spesifik (*specific surface area*), muatan permukaan (*surface charge*), porositas permukaan (*surface porosity*) dan permukaan geometri (*surface geometry*) (Liu 1999). Mekanisme serapan anion (contohnya fosfat) oleh oksida besi yaitu melalui penggantian satu ion fosfat oleh dua ion hidroksil permukaan (atau molukel air) dari oksida besi. Kemudian dua atom oksigen dari ion fosfat

tersebut akan berkoordinasi dengan masing masing ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang menghasilkan kompleks permukaan binuklear dengan model jerapannya adalah:  $\text{Fe-O-P(O}_2\text{)-O-Fe}$  (Parfitt et al. 1975).

### 3.5 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu fenomena permukaan karena akumulasi suatu spesies pada batas permukaan padat-cair. Adsorpsi merupakan salah satu cara efektif untuk menyerap kandungan berbahaya yang terdapat pada limbah cair dan sering dilakukan dalam proses penanganan limbah cair industri (Haura, 2017). Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik. Ada 2 tipe adsorpsi, yaitu adsorpsi fisik, dan adsorpsi kimia. Gambar skema adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia (sumber: Botahala, 2019)

Adsorpsi, umumnya diklasifikasikan ke dalam *physisorption* (dicirikan oleh kekuatan van der Waals yang lemah) dan *chemisorption* (ditandai oleh ikatan kovalen) (Matos et al., 2017). Adsorpsi fisik adalah adsorpsi yang terjadi apabila adsorbat dan permukaan adsorben terikat dengan gaya Van der Waals (Forster, 1983). Adsorpsi kimia terjadi apabila adsorbat dan permukaan adsorben bereaksi secara kimiawi atau membentuk ikatan kimia. Secara normal bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan di atas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak bebas bergerak dari permukaan satu ke permukaan lainnya (Castellan, 1985). Perbedaan antara adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia dapat dilihat pada Tabel 1.



Tabel 1. Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia (Botahala,2019)

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Molekul terikat pada adsorben dengan gaya van der waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Membentuk lapisan multilayer	Membentuk lapisan monolayer
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibakan energi aktivasi tertentu
Bersifat tidak spesifik	Bersifat spesifik

Pada proses adsorpsi terjadi ada beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi yaitu pH larutan, waktu kontak, suhu dan berat adsorben (Aisyahlika et al., 2018). Berat adsorben berpengaruh pada jumlah gugus aktif yang membuat semakin banyak jumlah adsorben maka akan memberikan luas permukaan yang semakin besar bagi adsorbat untuk teradsorpsi. kapasitas adsorpsi menyatakan banyaknya adsorbat yang mampu terakumulasi pada permukaan adsorben sehingga ketika proses adsorpsi berlangsung pada kondisi optimum maka akan diperoleh adsorben dengan kapasitas adsorpsi maksimum (Apriyanti, 2018).

### 3.6 Impregnasi Basah

Impregnasi adalah metode preparasi untuk mengembankan bahan tertentu ke permukaan bahan lain. Metode impregnasi dilakukan dengan cara mengadsorpsikan komponen aktif logam dalam larutan kepada padatan pengemban. Tujuan dari impregnasi adalah untuk memenuhi pori pengemban dengan larutan garam logam dengan konsentrasi tertentu. Metode impregnasi memiliki beberapa keuntungan, yaitu peralatan yang digunakan relatif sedikit karena tidak ada langkah pencucian dan penyaringan (Dewi, 2017).

Metode impregnasi terdiri dari dua macam, yaitu impregnasi kering (*dry impregnation*) dan impregnasi basah (*wet impregnation*). Metode yang umum digunakan dalam pembuatan katalis adalah impregnasi basah karena proses pengerjaannya lebih mudah. Bisa dilakukan secara dengan dua cara yaitu : impregnasi langsung (*co-impregnation*) dan impregnasi bertahap (*sequential*). Impregnasi secara langsung adalah memasukkan larutan komponen aktif atau prekursor secara bersama-sama dalam pori dari sampel. Sedangkan impregnasi bertahap dilakukan dengan memasukkan larutan komponen aktif atau prekursor secara terpisah (Lestari, 2006).

Impregnasi basah menggunakan prinsip difusi untuk memasukkan bahan pelapis seperti surfaktan atau logam aktif ke dalam pori sampel (Regalbuto, 2007). Prinsip difusi ini harus didukung dengan volume larutan komponen aktif yang lebih besar daripada volume pori dari sampel. Secara umum metode ini cukup sederhana, hanya melarutkan surfaktan atau logam yang akan diimpregnasikan dalam pelarut dalam jumlah yang cukup banyak, dan dilanjutkan dengan merendam sampel padatan dalam larutan prekursor tersebut. Metode ini akan memaksa larutan masuk ke dalam pori pada sampel karena adanya perbedaan konsentrasi di dalam pori sampel dengan di luar pori sampel (Jong, 2009)

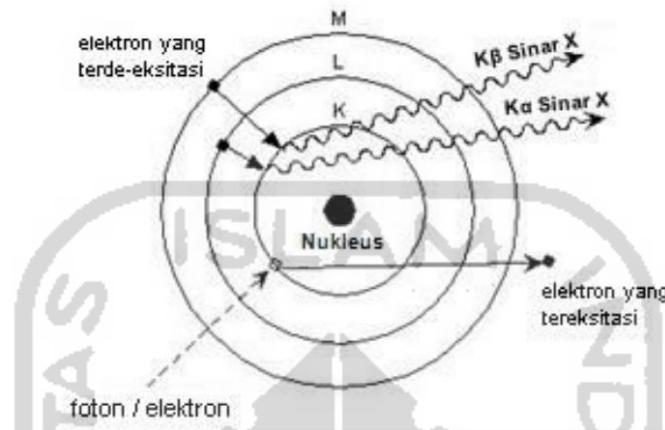
### 3.7 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa material kristalin, kristalinitas dan untuk mengetahui ukuran kristal dari partikel hasil sintesis. Tiap-tiap kristal memberikan pola khusus sehingga posisi puncak dalam difraktogram merupakan petunjuk akan kehadiran senyawa tertentu (Alviany et al., 2018).

Radiasi sinar-X dapat terjadi karena transisi elektron dari orbital yang memiliki tingkat energi lebih tinggi menuju orbital dengan tingkat energi yang lebih rendah dengan melalui tahapan berikut:

- a. Sebuah elektron yang terletak di kulit bagian dalam terpental ke luar atom karena adanya berkas cahaya atau berkas elektron dari luar.

- b. Kekosongan elektron ini selanjutnya digantikan oleh elektron dari kulit yang lebih luar disertai pemancaran sinar-X. Peristiwa ini diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembentukan sinar-X (Sumber: Setiabudi, 2012)

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang (NJ) berkisar 0,1 nm. Radiasi yang dipancarkan ini memiliki energi yang khas sesuai dengan transisi elektron yang terjadi. Sinar-X dapat diproduksi di dalam sebuah wadah (tabung) ke dalam udara dengan cara memanaskan filament sehingga mengeksitasikan elektronnya yang kemudian diakselerasi (dipercepat) dengan listrik bertegangan tinggi sehingga elektron memiliki energi kinetik yang tinggi. Karena elektron bermuatan negatif, maka elektron akan bergerak menuju sebuah plat logam yang diletakkan pada bagian anoda yang bermuatan positif (Setiabudi, 2012).

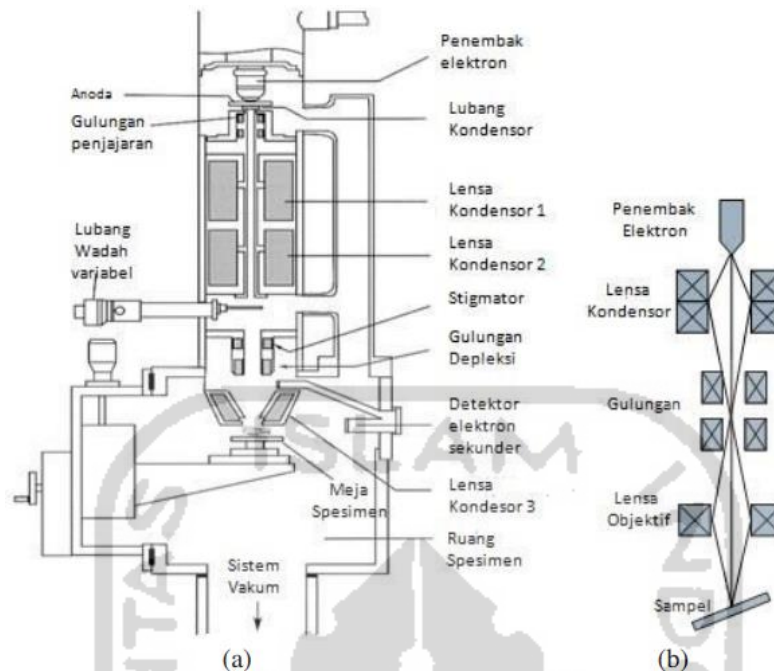
Berkas cahaya dapat mengalami penghamburan karena selain memiliki sifat gelombang, cahaya juga memiliki sifat sebagai partikel yang biasa disebut dengan foton. Karakter cahaya yang memiliki dua sifat ini dinamakan dualisme cahaya. Sebagai partikel, foton yang bergerak dapat menumbuk partikel lain yang terdapat dalam material sampel. Akibatnya, pada saat tumbukan foton tersebut dapat mengalami beberapa kemungkinan. Jika pada saat tumbukan masing-masing partikel tidak menyerap energi, maka akan dihasilkan tumbukan lenting sempurna. Sudut yang terbentuk dari arah datang dan arah pantulan foton pada saat terjadinya

tumbukan, dipengaruhi oleh orientasi partikel pada sampel yang ditumbuk oleh foton tersebut. Setiap sudut yang dibentuk oleh foton yang datang pada arah tertentu akan menghasilkan pantulan yang khas jika orientasi material sampelnya tidak berubah. Keunikan pola yang terbentuk inilah yang memungkinkan dilakukannya analisa kualitatif suatu senyawa dengan memanfaatkan sinar-X (Setiabudi, 2012).

### **3.8 Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)**

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan suatu alat karakterisasi yang digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan bahan. Pada SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa bentuk tiga dimensi gambar atau foto (Bishop dan Smallman, 2000). SEM juga dapat digunakan untuk karakterisasi susunan serbuk dan melihat retakan pada permukaan sampel.

Pada SEM berkas elektron ditembakkan pada permukaan sampel, sedangkan imejnya diperoleh berdasarkan hasil deteksi elektron yang dihamburkan atau berdasarkan elektron sekunder. Elektron sekunder berasal dari permukaan sampel dan memiliki energi yang rendah sekitar 5- 50 eV. Sedangkan elektron yang dihamburkan berasal dari bagian sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi tentang komposisi sampel karena elektron yang lebih berat menghamburkan secara lebih kuat dan tampak lebih terang pada image yang dihasilkan. Pengoperasian SEM dilakukan dalam keadaan vakum ( $10^{-6}$  bar) sehingga elektron hanya berinteraksi dengan sampel yang diteliti. Secara skematis instrumentasi SEM ditunjukkan pada Gambar 5a dan 5b (Setiabudi, 2012).



Gambar 5. a) Skema instrument SEM yang disederhanakan, b) skema instrumen SEM yang lebih detail (sumber: Setiabudi,2012)

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 element identification. EDX bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase kandungan masing-masing elemen (Cahyana dan Marzuki, 2014)

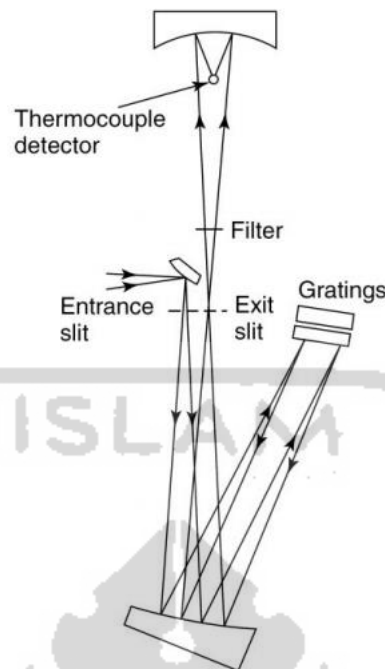
### 3.9 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Spektroskopi merupakan studi antaraksi radiasi elektromagnetik dengan materi. Spektroskopi inframerah didasarkan pada fenomena terabsorpsinya radiasi elektromagnetik inframerah oleh vibrasi molekul. Spektroskopi vibrasi ini merupakan teknik yang cukup handal untuk menganalisis struktur molekul. Radiasi

elektromagnetik adalah suatu bentuk dari energi yang diteruskan melalui ruang dengan kecepatan yang luar biasa (Setiabudi, 2012).

*Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FT-IR)* yang merupakan salah satu metode pengukuran untuk mendeteksi struktur molekul senyawa melalui identifikasi gugus fungsi penyusun senyawa berdasarkan spektrum vibrasi molekul. Pengujian dengan spektroskopi FT-IR tidak memerlukan persiapan sampel yang rumit dan bisa digunakan dalam berbagai fase baik padat, cair maupun gas. Metode spektroskopi yang digunakan adalah metode spektroskopi adsorpsi yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi infra merah oleh molekul suatu materi. Adsorpsi inframerah oleh suatu materi dapat terjadi jika dipenuhi dua syarat yakni kesesuaian antara frekuensi radiasi infra merah dengan frekuensi vibrasional molekul sampel dan perubahan momen dipol selama bervibrasi (Sulistiyani, 2017).

Komponen spektrofotometer inframerah terdiri dari lima bagian pokok yaitu (1) sumber radiasi, (2) wadah sampel, (3) monokromator, (4) detektor dan (5) recorder. Terdapat dua macam spektrofotometer infra merah yaitu dengan berkas tunggal (*single-beam*) dan berkas ganda (*double-beam*). Pada Gambar 6 terlihat diagram dari spektrofotometer infra merah berkas ganda (*double beam*). Radiasi infra merah dihasilkan dari pemanasan suatu sumber radiasi dengan listrik sampai suhu antara 1500 dan 2000 K Sumber radiasi yang biasa digunakan berupa Nernst Glower, Global dan Kawat Nikhrom (Setiabudi, 2012).



Gambar 6. Diagram Spektrofotometer Inframerah Berkas Rangkap (Sumber: Setiabudi, 2012)

Jumlah energi yang diperlukan untuk meregangkan suatu ikatan tergantung pada tegangan ikatan dan massa atom yang terikat. Bilangan gelombang suatu serapan dapat dihitung menggunakan persamaan yang diturunkan dari Hukum Hooke.

$$V = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{f(m_1+m_2)}{m_1m_2}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

$\nu$  = jumlah gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )

$c$  = kecepatan cahaya ( $\text{cm dt}^{-1}$ )

$m_1$  = massa atom 1 (g)

$m_2$  = masa atoam 2 (g)

$f$  = tetapan gaya ( $\text{dyne cm}^{-1} = \text{g det}^{-1}$ )

### 3.10 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopi memakai sumber radiasi elektromagnetik ultra violet dekat (190-380 nm) dan sinar

tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer (Mulja dan Suharman, 1995). Biasa diterapkan dalam analisis kimia untuk mendeteksi senyawa (padat/cair) berdasarkan absorbansi foton (Irawan, 2019).

Prinsip kerja Spektrofotometer UV-Vis yaitu apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap (I), sebagian dipantulkan (I<sub>r</sub>), dan sebagian lagi dipancarkan (I<sub>t</sub>). Aplikasi rumus tersebut dalam pengukuran kuantitatif dilaksanakan dengan cara komparatif menggunakan kurva kalibrasi dari hubungan konsentrasi deret larutan alat untuk analisa suatu unsur yang berkadar rendah baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif, pada penentuan secara kualitatif berdasarkan puncak-puncak yang dihasilkan spektrum dari suatu unsur tertentu pada panjang gelombang tertentu, sedangkan penentuan secara kuantitatif berdasarkan nilai absorbansi yang dihasilkan dari spektrum dengan adanya senyawa pengompleks sesuai unsur yang dianalisisnya (Yanlinastuti, 2016).

Adapun yang melandasi pengukuran spektrofotometer ini dalam penggunaannya adalah hukum Lambert-Beer yaitu bila suatu cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang transparan, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan sebanding dengan tebal dan kepekaan media larutan yang digunakan berdasarkan persamaan berikut:

$$A = \log I/I_0 \text{ atau } A = a \cdot b \cdot c \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

- A = absorbansi
- a = koefisien serapan molar
- b = tebal media cuplikan yang dilewati sinar
- c = konsentrasi unsur dalam larutan cuplikan
- I<sub>0</sub> = intensitas sinar mula-mula
- I = intensitas sinar yang diteruskan



## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada percobaan ini adalah seperangkat alat gelas Labu ukur 50 ml, pengaduk kaca, corong gelas, gelas beker (100 ml, 250 ml, 600 ml) pipet tetes, sendok sungs, spatula, cawan porselen, timbangan analitik, Oven (Memmert), botol vial, *Shaker*, Spektrofotometer UV-Vis, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) *Perkin Elmer*, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

#### 4.2 Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah *Biochar* kulit singkong,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , NaOH, Aquades, kertas saring, *Methylene blue*, dan *plastic wrap*.

#### 4.3 Cara Kerja

##### 4.3.1 Pembuatan *Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

Pembuatan komposit mengacu pada penelitian sebelumnya (Fisli, 2012). *Biochar* kulit singkong ditimbang sebanyak 3,9 g dan dicampurkan dengan 200 mL aquades kemudian di stirrer pada suhu 70 °C. Pada wadah lain dibuat larutan campuran antara 7,8 g  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan 3,9  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (rasio mol Fe(III) : Fe(II) 2:1) didalam 200 mL aquades. Selanjutnya campuran ini dimasukkan kedalam larutan *biochar* dan distirer selama 30 menit. Kemudian ditambahkan NaOH 5M 100 mL tetes demi tetes. Suhu larutan tetap dijaga 70 °C sambil distirer selama 2 jam. Setelah itu, pisahkan endapan dengan batang magnet. Padatan yang didapat dicuci berulang kali dengan aquades hingga pH air cucian sama dengan pH aquades. Kemudian endapan yang didapat dioven selama 3 jam pada suhu 100 °C.

##### 4.3.2 Karakterisasi *Biochar*

Dilakukan karakterisasi antara *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dengan menggunakan FTIR yang berfungsi untuk mengetahui gugus fungsi dan mengidentifikasi senyawa berdasarkan spektrum dan panjang gelombang pada sampel; SEM digunakan untuk mengetahui karakteristik morfologi dari suatu

material serta memiliki perbesaran yang dapat melihat komposisi unsur permukaan dan informasi kristalografi; dan XRD yang berfungsi untuk mengkarakterisasi struktur kristal, dan ukuran kristal dari *biochar* yang sudah diperoleh.

#### 4.3.3 Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum *Methylene blue*

Dibuat larutan 5 ppm MB kemudian diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm. Selanjutnya dibuat grafik antara absorbansi dengan panjang gelombang dan dari grafik ini dapat ditentukan berapa panjang gelombang serapan maksimum MB.

#### 4.3.4 Pembuatan Larutan Induk

Larutan induk tembaga 200 ppm dibuat dalam labu ukur 250 mL. Kemudian dibuat larutan standar seri *methylene blue* 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm dalam labu ukur 10 mL. Setelah itu diukur absorbansi larutan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil absorbansi yang diperoleh digunakan untuk pembuatan kurva kalibrasi.

#### 4.3.5 Uji Adsorpsi Penentuan Massa Adsorben Optimum

Ditimbang biosorben sebanyak 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 dan 0,1 gram lalu dimasukkan ke dalam botol vial. Selanjutnya pada masing – masing botol ditambahkan 25 ml larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 25 ppm. Kemudian larutan diaduk dengan *shaker* selama 1 jam dengan kecepatan 250 rpm. Setelah itu, larutan disaring dan filtrat yang didapat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Diperoleh absorbansi dari filtrat yang dianalisis dan dilihat massa biosorben optimumnya.

#### 4.3.5 Kapasitas Adsorpsi ( $Q_e$ ) dan Daya Adsorpsi (%)

Nilai konsentrasi dari hasil adsorpsi dianalisis dengan menggunakan rumus kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) dan daya adsorpsi (% adsorpsi) (Deng, 2011) :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{w} \times V \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \dots\dots\dots (4.2)$$

Keterangan:

$Q_e$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$C_o$  = Konsentrasi awal (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi akhir (mg/L)

$V$  = Volume (L)

$W$  = Massa (g)



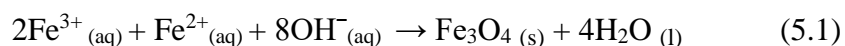
## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi massa *biochar* kulit singkong yang dimodifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap adsorpsi *methylene blue*. Adsorpsi bisa dilakukan menggunakan adsorben *biochar*, *biochar* adalah suatu bahan yang memiliki sifat adsorpsi karena memiliki matriks karbon yang relatif terstruktur dengan tingkat porositas tinggi dan luas permukaan yang luas. Modifikasi dilakukan bertujuan untuk menambah sifat dari *biochar*. Sifat yang ditambahkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan sifat dari bahan tersebut. Sehingga nilai dari suatu bahan akan meningkat. *Biochar* termodifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang bersifat magnetit maka *biochar* akan memiliki sifat tersebut. Material magnetit memiliki keunggulan dalam mempermudah proses pemisahan adsorben dengan larutan. Pemisahan *biochar* yang bersifat magnetit dapat ditarik hanya dengan batang magnet sederhana.

#### 5.1 *Biochar* Termodifikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4$

*Biochar* dari kulit singkong dimodifikasi dengan cara impregnasi atau penyisipan suatu material ke material lainnya (Dewi, 2016). Proses impregnasi yang dilakukan ialah impregnasi basah. Yaitu dengan cara melarutkan logam yang akan diimpregnasi ke dalam pelarut dalam jumlah yang cukup banyak, dan dilanjutkan dengan merendam sampel padatan dalam larutan perkursor tersebut (Jong, 2009). Material yang akan disisipkan ialah material magnetit. Material tersebut dipilih karena sifatnya yang dapat ditarik oleh benda yang bersifat magnet juga sehingga dapat mempermudah proses pemisahan adsorpsi. Metode impregnasi mengikuti penelitian sebelumnya dengan menggunakan prekursor  $\text{FeCl}_3$  dan  $\text{FeSO}_4$  (Fisli, 2012). Kedua prekursor tersebut dilarutkan dalam air dan dicampurkan dengan larutan *biochar* pada suhu  $70\text{ }^\circ\text{C}$ . Adanya pemanasan diharapkan membantu proses reaksi. Serta ditambahkan  $\text{NaOH}$  yang berfungsi sebagai agen pengendap (Sholihah, 2010). Dengan mencampurkan  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  akan membentuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Reaksi pembentukan partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat dilihat sebagai berikut:



Endapan besi yang terbentuk menempel kepada permukaan *biochar* dan membentuk komposit. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi di dalam pori *biochar* dengan keadaan diluar pori sehingga memaksa larutan masuk menempel pada pori (Jang, 2009). Didapatkan komposit berwarna hitam dan diuji dengan menarik komposit menggunakan batang magnet sederhana. Dan penarikan magnet dapat dilihat pada Gambar 7. Hal ini menunjukkan bahwa komposit *biochar* magnet sudah terbentuk.



Gambar 7. *Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* ditarik Magnet

## 5.2 Karakterisasi *Biochar*

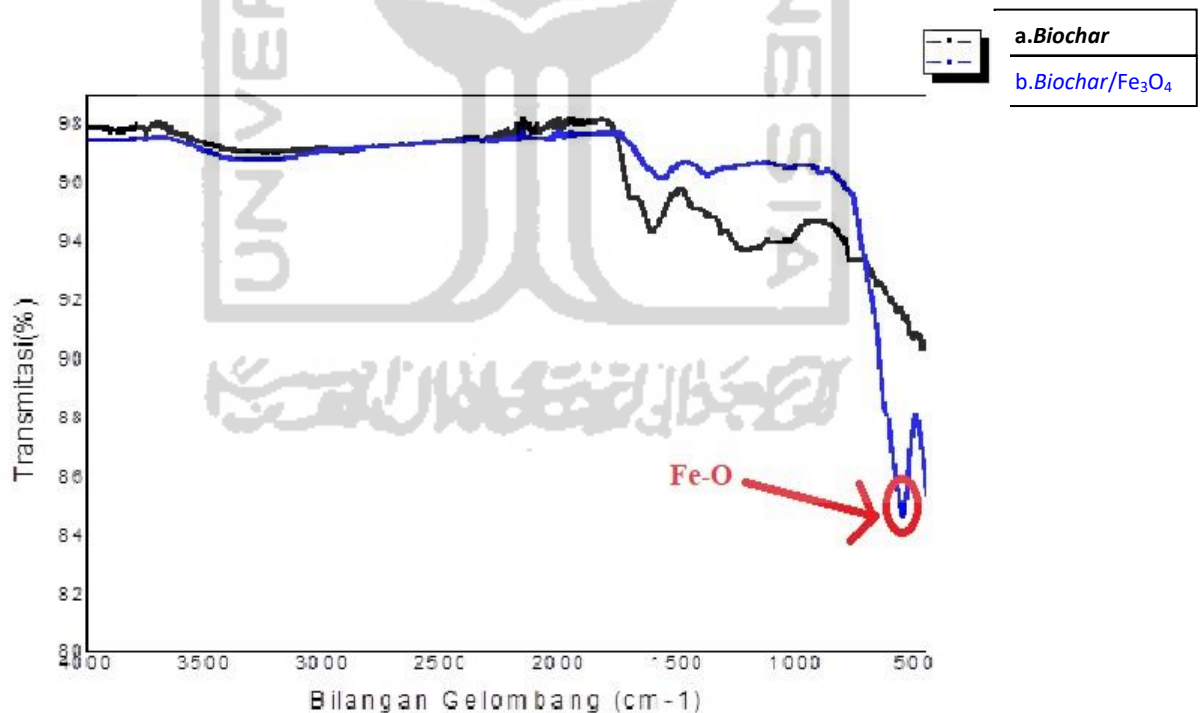
*Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* yang didapat kemudian di karakterisasi menggunakan instrumen FTIR, XRD, dan SEM. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui kandungan, struktur dan morfologi dari *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*. Sebagai pembandingan analisis juga dilakukan pada *biochar* kulit singkong.

### 5.2.1 Hasil Karakterisasi Menggunakan FTIR

Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*. Spektroskopi FTIR adalah alat yang didasarkan pada penyerapan sinar inframerah. Sinar inframerah yang mengenai suatu materi akan membuat terjadinya peningkatan amplitudo getaran (vibrasi) atom-atom pada suatu molekul (Fessenden, 1997). Setiap gugus fungsi

dapat menyerap sinar IR pada panjang gelombang tertentu hal inilah yang menyebabkan hasil dari FTIR spesifik dan dapat dianalisis (Anam et al., 2007). Penyerapan inframerah oleh suatu materi dapat terjadi jika memenuhi dua syarat, yaitu kesesuaian antara frekuensi radiasi sinar inframerah dengan frekuensi vibrasi molekul sampel dan perubahan momen dipol selama bervibrasi (Chatwal, 1985).

Spektrum FTIR sampel *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dapat dilihat pada Gambar 8. Dapat dilihat bahwa kedua spektra tersebut memiliki pola serapan yang hampir sama. Perbedaan signifikan terdapat pada adanya serapan di daerah finger print yaitu berkisar di  $549\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan bahwa ada serapan antara Fe-O dalam *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*. Nilai tersebut merupakan karakteristik dengan serapan logam pada rentang IR (Rampengan, 2017). Nilai tersebut tidak terlalu berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Maylani (2016) dimana nilai Fe-O didapatkan pada bilangan gelombang  $586,36\text{ cm}^{-1}$ , dan Fisli et al. (2018) didapatkan pada bilangan gelombang  $560\text{ cm}^{-1}$ .



Gambar 8. Spektra FTIR dari sampel *biochar* dan *biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*.

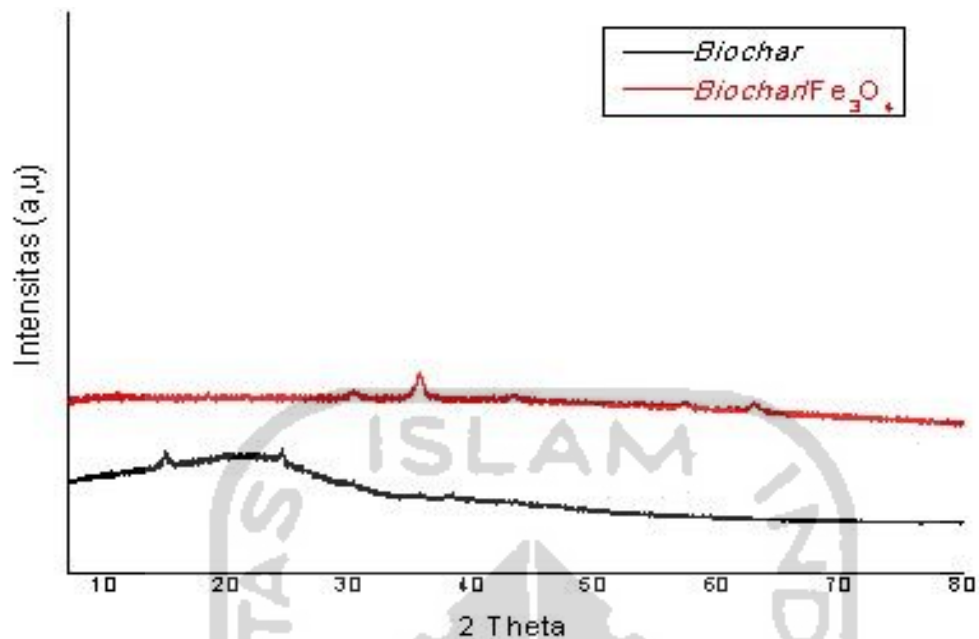
Dari kedua kurva pada Gambar 8 muncul serapan maksimum sekitar 3240,15 untuk *biochar* Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan 2923,05 untuk *biochar*. Bilangan gelombang tersebut karakteristik untuk vibrasi OH dari *biochar* (Rivka et al.,2017; Chen et al., 2017). Kemudian pada bilangan gelombang 1607,69 untuk *biochar* dan 1571,22 untuk *biochar*/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> merupakan puncak yang diakibatkan oleh adanya vibrasi ikatan C-C. Dan terdapat puncak maksimum pada bilangan gelombang 1213,33 untuk *biochar* dan 1375,27 untuk *biochar*/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Puncak ini berasal dari vibrasi C-O. Bilangan gelombang dan gugus fungsi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi dari *Biochar* dan *Biochar*/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

No	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )		Gugus fungsi
	<i>Biochar</i>	<i>Biochar</i> /Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
1	2923,05	3240,15	OH
2	1607,69	1571,22	C-C
3	1213,33	1375,27	C-O
4		549,75	Fe-O
5	406,12	406,97	Alkil rantai pendek

### 5.2.2 Hasil Karakterisasi XRD

Hasil analisis X-Ray *Diffractometer* (XRD) dari sampel *biochar* dan *biochar*/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat dilihat pada Gambar 9. Pada pola difraksi *biochar* diketahui bahwa terdapat puncak-puncak melebar yang menandakan bahwa struktur *biochar* bersifat amorf (Fisli, 2012). Terdapat puncak maksimum pada rentang 10-30° yaitu 14,454 dan 24,103. Setelah *Biochar* dimodifikasi dengan penambahan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> maka puncak difraksi yang berasal dari *biochar* menghilang dan timbul puncak difraksi baru mengikuti pola difraksi XRD dari JCPDS No. Katalog 11-064. Yaitu 18,277; 30,105; 35,451; 43,123; 53,478; 57,012; 62,585; 70,967; dan 74,063 yang merupakan jenis mineral magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Sedangkan nilai pola difraksi yang didapat pada penelitian ini adalah 18,385; 30,302; 35,440; 43,597; 57,987; 62,617; dan 71,160. Hal ini menunjukkan bahwa pada permukaan struktur *biochar* telah menempel partikel magnet fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

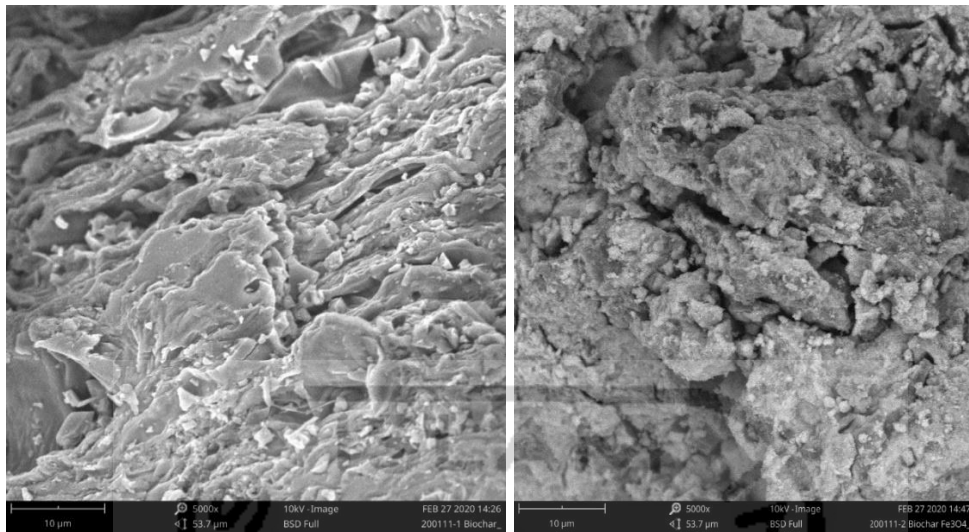


Gambar 9. Pola difraksi sampel *Biochar* dan *Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

### 5.2.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX

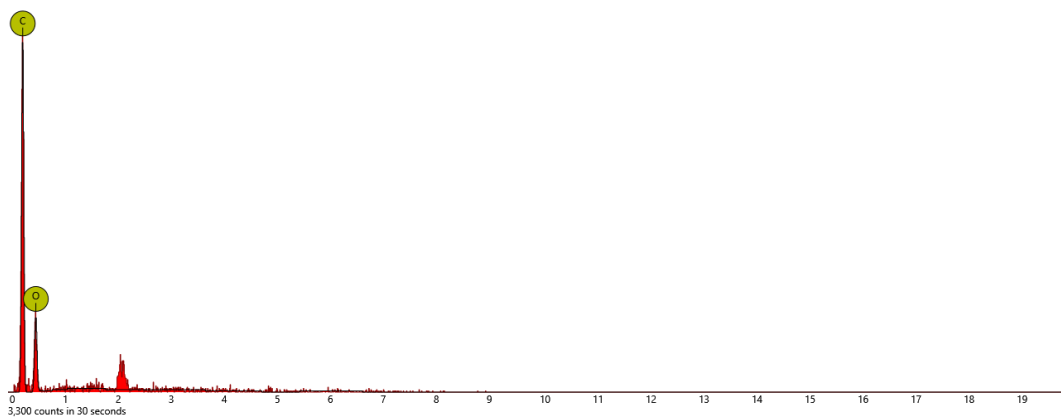
Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel dan kandungan unsur dalam sampel. SEM-EDX didasarkan pada analisis spektral radiasi sinar-X karakteristik yang dipancarkan dari atom sampel pada iradiasi dengan berkas elektron yang difokuskan dari SEM (Julinawati et al., 2015). Perbandingan morfologi permukaan antara *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dengan hasil karakterisasi SEM perbesaran 5000 kali dapat dilihat pada Gambar 10.

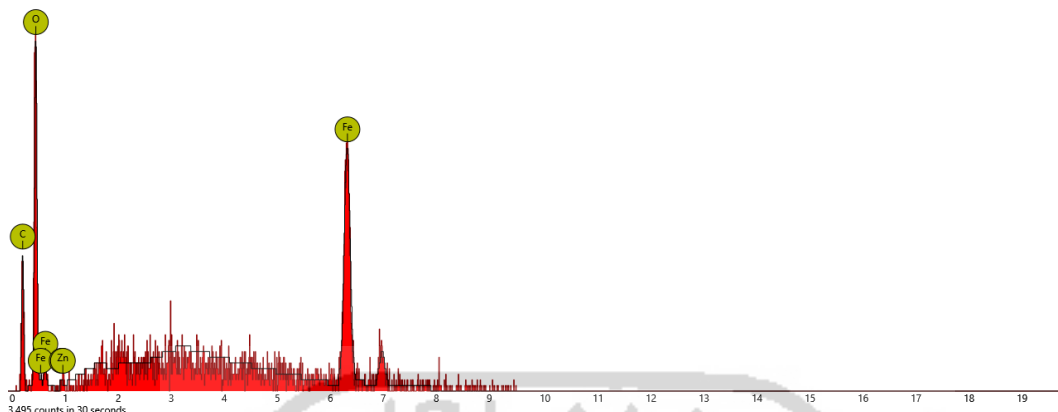




Gambar 10. Struktur Morfologi perbesaran 5000 kali a) *Biochar* dan b) *Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

Berdasarkan citra pada Gambar 10. a) diketahui bahwa permukaan *biochar* memiliki pola garis dan serabut. Sementara citra dari *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* terlihat lebih kasar dibanding *biochar*. Terdapat juga gumpalan gumpalan berwarna putih yang diperkirakan bagian dari magnet  $Fe_3O_4$  (Susanto, 2018). Hal ini memperkuat data FTIR dan XRD bahwa  $Fe_3O_4$  yang memiliki sifat magnet sudah menempel pada *biochar*. Menunjukkan juga sintesis pada penelitian ini berhasil. Maka *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dapat digunakan sebagai adsorben MB yang dapat ditarik oleh batang magnet sederhana untuk pemisahannya. Untuk mengetahui kandungan dari sampel dapat digunakan EDX. Kandungan unsur yang terdapat di dalam sampel *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* ditunjukkan pada Gambar 11.





Gambar 11. Spektrum Electron Dispersive X-ray sampel a) *Biochar* dan b) *Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

Dari Gambar 11 a) diketahui bahwa *biochar* hanya mengandung 2 unsur yaitu karbon dan oksigen. Semakin tinggi intensitas unsur maka semakin tinggi konsentrasi atom tersebut pada sampel. *Biochar* didominasi oleh karbon dengan konsentrasi sebesar 76,31 % dan oksigen 23,69 %. Sedangkan pada gambar 11 b) menunjukkan bahwa *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* mengandung unsur lain selain oksigen dan karbon yaitu besi dan zink. Berbeda dengan *biochar* pada *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* besi merupakan unsur dominan ditunjukkan dengan intensitasnya yang paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa besi pada komposit tersebut telah banyak mengandung magnet. Kandungan terbesar kedua adalah karbon dan diikuti dengan oksigen dan zink. Konsentrasi atom secara berurut besi, karbon, oksigen dan zink yaitu 72,23 %; 16,32 %; 11,19 %; dan 0,26 %. Perbandingan kandungan unsur antara *biochar* dan *biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dapat dilihat pada tabel 3.

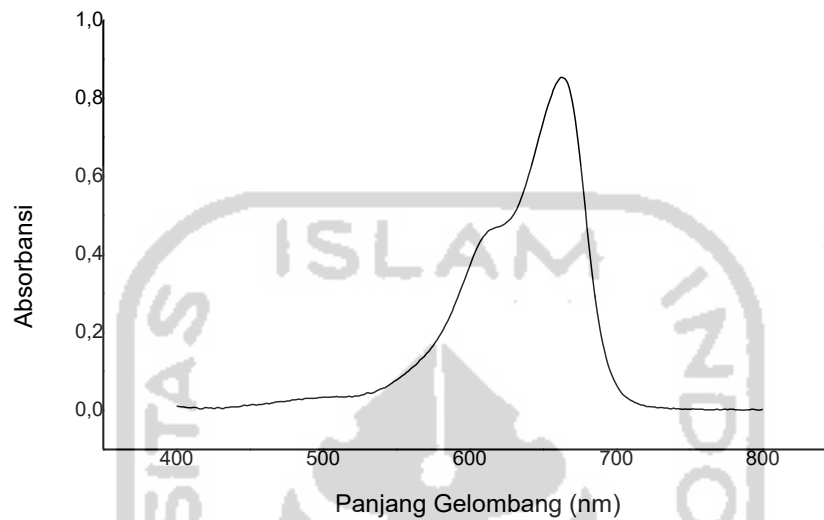
Tabel 3. Kandungan Unsur dalam Sampel *Biochar* dan *Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

Sampel	Nama Unsur	Simbol	Konsentrasi atom (%)
<i>Biochar</i>	Karbon	C	76,31
	Oksigen	O	23,69
<i>Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i>	Besi	Fe	72,23
	Karbon	C	16,32
	Oksigen	O	11,19
	Zink	Zn	0,26

### 5.3 Analisis Panjang Gelombang Maksimum *Methylene blue*

Konsentrasi 5 ppm larutan zat warna *methylene blue* dibuat dari larutan induk 200 ppm. Dengan cara pengenceran dan diambil 2,5 mL larutan MB 200 ppm dan diencerkan kedalam labu ukur 10 mL. Larutan tersebut digunakan untuk mencari panjang gelombang maksimum dari *methylene blue*. Panjang gelombang maksimum berfungsi untuk mengetahui penyerapan cahaya paling maksimum dari suatu bahan (Geçgel et al., 2013). Panjang gelombang maksimum dicari menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis. Instrumen ini menentukan nilai penyerapan dari suatu bahan tergantung kepada senyawa atau warna yang terbentuk. Dari nilai tersebut bisa ditentukan nilai konsentrasi dari larutan.

Pengujian dilakukan pada panjang gelombang 400-800 nm daerah tersebut mewakili panjang gelombang pada rentang visible. Hal itu dikarenakan *methylene blue* merupakan larutan berwarna. Didapatkan kurva hasil perbandingan antara adsorpsi sebagai sumbu y dan panjang gelombang sebagai sumbu x. Kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 12. Panjang gelombang maksimum dari larutan *methylene blue* adalah 663 nm. Panjang tersebut memiliki sedikit perbedaan dengan penelitian sebelumnya yaitu 665 nm (Fatihaa, 2015). Hal ini bisa terjadi karena adanya pergeseran panjang gelombang akibat perbedaan bahan baku, pelarut maupun alat.



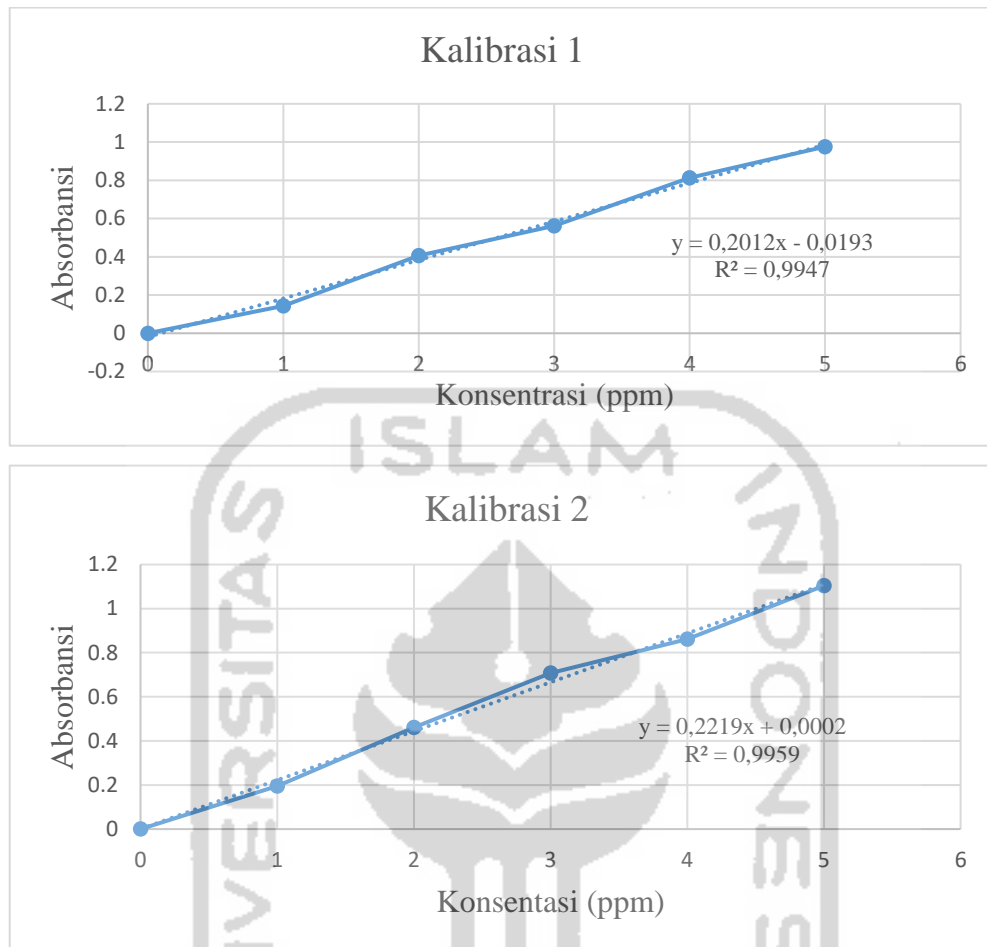
Gambar 12. Panjang Gelombang Maksimum *Methylene blue*

#### 5.4 Pembuatan Larutan standar dan Kurva Kalibrasi

Larutan standar digunakan untuk mendapatkan kurva kalibrasi yang berfungsi untuk mengetahui nilai konsentrasi larutan. Larutan standar dapat dibuat dari larutan induk dengan konsentrasi yang lebih rendah. Pada penelitian ini dibuat larutan standar 0 – 5 ppm dari larutan standar 200 ppm. Masing masing dilarutkan dalam 10 mL aquades kemudian di analisis nilai absorbansinya. Dari nilai absorbansi dibuat kurva antara konsentrasi dan absorbansi yang dapat dilihat pada Gambar 13 dan Tabel 4.

Tabel 4. Absorbansi Larutan Standar

Konsentrasi	Absorbansi	
	Kurva 1	Kurva 2
0	0	0
1	0,144	0,195
2	0,407	0,461
3	0,562	0,708
4	0,813	0,861
5	0,976	1,104



Gambar 13. Kalibrasi 1 dan Kalibrasi 2

Berdasarkan pada Gambar 13 didapatkan bahwa kurva kalibrasi membentuk garis lurus. Semakin besar konsentrasi maka absorbansi juga semakin meningkat. Dengan dibuatnya kurva dan dicari nilai regresi ( $R^2$ ) diketahui bahwa kurva kalibrasi 1 dan 2 sebesar 0,9947 dan 0,9959. Nilai tersebut lebih rendah dari penelitian sebelumnya yaitu 0,9992 (Sandy, 2018). Hal ini bisa terjadi karena kurangnya ketelitian dalam pembuatan larutan standar. Tetapi Nilai tersebut dapat diterima sebagai nilai regresi yang memiliki nilai mendekati 1 (Riyanto, 2016).

### 5.5 Uji Adsorpsi Variasi Massa *Biochar* Terhadap *Methylene blue*

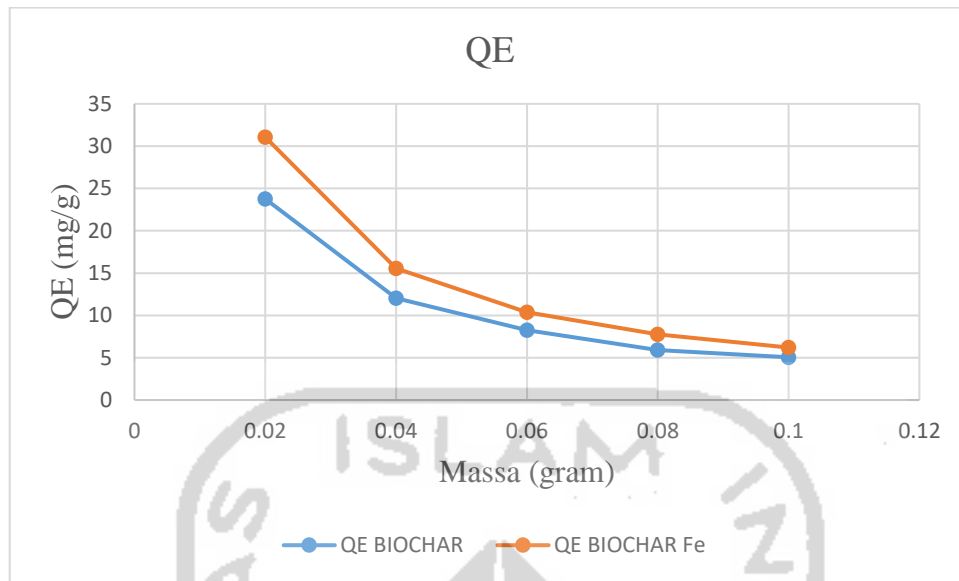
Pada penelitian ini uji adsorpsi digunakan *biochar* sebagai adsorben yang digunakan sebagai penyedia permukaan yang dapat ditempel oleh adsorbat yaitu *methylene blue* (Reynolds, 1982). Uji adsorpsi dilakukan untuk mengetahui

pengaruh variasi massa adsorben terhadap efektivitas dan kapasitas adsorpsi. Parameter uji adsorpsi dilakukan pada kondisi awal konsentrasi MB 25 ppm, volume larutan 25 mL, dan diaduk menggunakan shaker selama 60 menit pada kecepatan 250 rpm. Variasi berat adsorben 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 dan 0,1 gram. Kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Setiap variasi dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Hal ini berfungsi untuk memperkuat data yang diperoleh dan menghitung nilai rata-rata dari sampel. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*. Hasil adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Absorbansi dan Konsentrasi Sampel *Biochar* dan *Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

Massa Adsorben	Rata- Rata absorpsi		Rata-rata Konsentrasi	
	<i>Biochar</i>	<i>Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i>	<i>Biochar</i>	<i>Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i>
0,02	0,1330	0,0093	5,9847	0,1423
0,04	0,1283	0,0103	5,7744	0,1472
0,06	0,1163	0,0133	5,2335	0,1622
0,08	0,1347	0,0193	6,0597	0,1920
0,1	0,1066	0,0177	4,7979	0,1837

Berdasarkan data pada Tabel 5 diketahui bahwa hubungan antara absorbansi dan konsentrasi berbanding lurus. Semakin besar absorbansi maka semakin besar nilai konsentrasi. Konsentrasi larutan dapat dihitung menggunakan persamaan kurva kalibrasi secara berurut 1 dan 2. Yaitu  $y = 0,2012x - 0,0193$  untuk *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dan  $y = 0,2219x + 0,0002$  untuk *biochar*. Dari konsentrasi yang didapat kemudian bisa digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi dan % adsorpsi. Kurva kapasitas adsorp dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Kapasitas Adsorpsi *Biochar* dan *Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

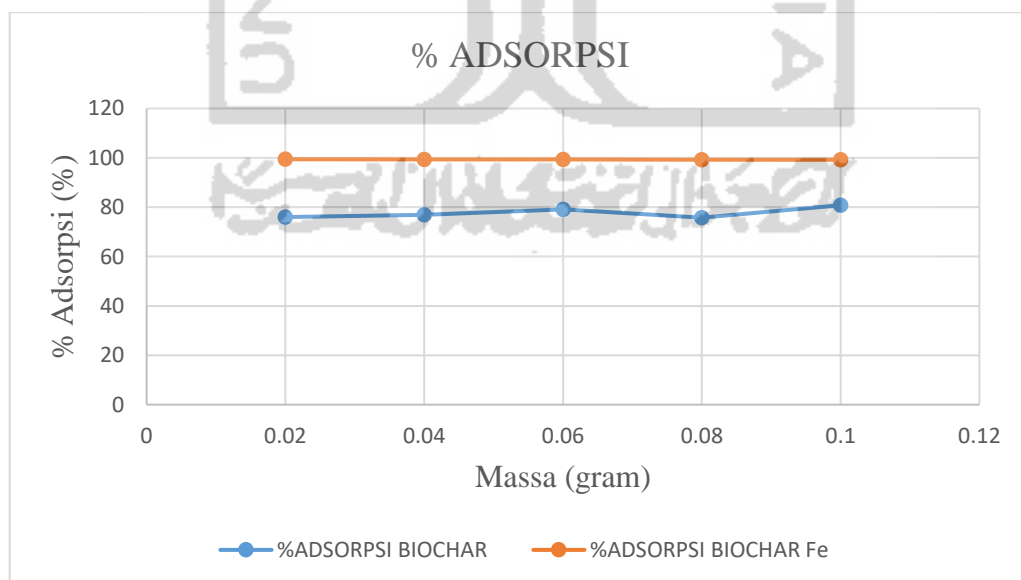
Kapasitas adsorpsi adalah kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat yang didasarkan pada berat (Aisyahlika et al., 2018). Pada Gambar 14 diketahui bahwa semakin besar adsorben maka kapasitas adsorpsi menurun. Hal ini dikarenakan dengan adanya peningkatan jumlah adsorben, maka ada penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini dikarenakan peningkatan jumlah adsorben dapat meningkatkan jumlah sisi aktif yang akan saling berkompetisi dalam penyerapan adsorbat sehingga akan menyebabkan kapasitas adsorpsi mejadi menurun jika dibandingkan dengan jumlah adsorben yang sedikit (Nurhasni et al., 2018). Menurut Oscik dan Cooper (1992) menjelaskan bahwa banyaknya sisi aktif berbanding dengan luas permukaan adsorben dan masing-masing sisi aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat. Pada keadaan dimana tempat adsorpsi telah jenuh oleh adsorbat maka kenaikan massa adsorben cenderung tidak menaikkan jumlah zat yang teradsorpsi

Variasi massa yang digunakan adalah 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1 gram. Perbandingan antara nilai kapasitas adsorpsi dari *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dapat dilihat pada Tabel 5. Secara berurut didapatkan nilai Qe sebesar 23,7691; 12,0160; 8,2360; 4,9188; 5,0505 mg/g untuk *Biochar* dan 31,0721; 15,5329; 10,3490; 7,7525; 6,2040 mg/g untuk *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*. Massa adsorben untuk mendapatkan kapasitas adsorpsi maksimum *biochar* maupun *biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* adalah 0,02 gram.

Tabel 5. Kapasitas adsorpsi *Biochar* dan *Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

Massa Adsorben	QE <i>Biochar</i>	QE <i>Biochar Fe</i>
0,02	23,76915	31,0721
0,04	12,0160	15,5329
0,06	8,2360	10,3490
0,08	5,9188	7,7525
0,1	5,0505	6,2040

Daya adsorpsi atau % adsorpsi adalah kemampuan dari suatu adsorben untuk menyerap limbah zat warna (Aisyahlika, 2018). Pada Gambar 15 diketahui bahwa variasi massa akan mempengaruhi daya adsorpsi. Untuk adsorben *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* semakin banyak adsorben yang digunakan untuk adsorpsi maka daya adsorpsi semakin menurun. Penurunan daya serap ini diakibatkan karena terbentuk dengan cepat lapisan kedua, ketiga, keempat dan seterusnya di atas adsorbat yang telah terikat di permukaan adsorben atau terjadi gejala adsorpsi multilayer yang mengakibatkan permukaan adsorben telah jenuh atau mendekati jenuh terhadap adsorbat (Nurafriyanti, 2017). Sedangkan untuk adsorben *biochar* didapatkan hasil yang berbeda yaitu kurva yang naik turun hal ini bisa diakibatkan karena adsorben *biochar* belum stabil untuk proses adsorpsi.

Gambar 15. % Adsorpsi *Biochar* dan *Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*



Daya adsorpsi untuk variasi massa 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1 gram dapat dilihat pada Gambar 15 dan Tabel 6. Pada *biochar* sebesar 76,0612; 76,9025; 79,0656; 75,7608; 80,8081 % sedangkan *Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* yaitu 99,4307; 99,4108; 99,3512; 99,2319; 99,2650 %. Terjadi perbedaan massa untuk mendapatkan daya adsorpsi maksimum dari *biochar* dengan *biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*. Pada *biochar* % adsorpsi tertinggi berada pada massa 0,1 sebesar 80,8081% sedangkan pada *biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* pada massa 0,02 gram sebesar 99,43075 %. Diketahui bahwa dengan adanya penambahan  $Fe_3O_4$  dapat meningkatkan daya adsorpsi *methylene blue*. Hal ini bisa terjadi karena  $Fe_3O_4$  ikut membantu proses adsorpsi dengan meningkatkan daya serap adsorben. *Biochar* kulit singkong sendiri merupakan adsorben dengan permukaan bergugus negatif (adanya gugus OH dari selulosa) sehingga terjadi tarik menarik menyebabkan zat terlarut menempel dengan baik pada permukaan adsorben (Nurhasni et al., 2018).

Tabel 6. Daya Adsorpsi *Biochar* dan *Biochar/ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*

Massa adsorben	% Adsorpsi <i>Biochar</i>	% Adsorpsi <i>Biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i>
0,02	76,0612	99,4307
0,04	76,9025	99,4108
0,06	79,0656	99,3512
0,08	75,7608	99,2319
0,1	80,8081	99,2650

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Komposit *biochar*/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat dibuat dengan menggunakan prekursor FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O dan FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O sebagai bahan dasar pembentuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.
2. *Biochar*/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX. Didapatkan bahwa muncul puncak serapan FTIR pada bilangan gelombang 549,75 cm<sup>-1</sup> milik vibrasi Fe-O. Dan pada hasil XRD didapatkan puncak yang menunjukkan pola difraksi partikel magnet fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Sedangkan morfologi permukaan *biochar*/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> diketahui bahwa tertempel gumpalan-gumpalan kecil milik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Diperkuat dengan data EDX yang menunjukkan kandungan tertinggi dari *biochar* kulit singkong termodifikasi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> adalah besi.
3. Pada uji adsorpsi didapatkan bahwa penyerapan limbah *methylene blue* 25 ppm dengan *biochar*/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berdasarkan variasi massa 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; dan 0,1 gram memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 31,0721; 15,5329; 10,3490; 7,7525; 6,2040 mg/g. Kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada massa adsorben sebesar 0,02 gram.

#### 6.2 Saran

Penelitian mengenai *biochar* kulit singkong termodifikasi yang telah dilakukan oleh penulis masih memiliki banyak kekurangan sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan seperti variasi lainnya yang juga mempengaruhi efektivitas daya adsorpsi suatu adsorben (konsentrasi limbah, pH, dan waktu kontak), pengembangan fungsi dari *biochar* dan pengolahan daur ulang *biochar*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adesina, A. O., Elvis, O. A., Mohallem, N. D. S., & Olusegun, S. J. (2019). Adsorption of Methylene blue and Congo Red From Aqueous Solution Using Synthesized Alumina–Zirconia Composite. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1652696>
- Agnestisia. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Serta Aplikasinya Sebagai Adsorben L. *11*(2), 61–70.
- Agrafioti, E., Bouras, G., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E. (2013). Biochar Production By Sewage Sludge Pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 101, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.02.010>
- Alviany, R., Marbun, M. P., Kurniawansyah, F., & Roesyadi, A. (2018). Proses Produksi Katalis  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Menggunakan Metode Impregnasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(2), 64–68. <https://doi.org/10.33005/tekkim.v12i2.1088>
- Anam, M., & Firdausi, K.S., (2007). Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi Ftir. *Berkala Fisika*, 10(2), 79–85.
- Annisa. W., Eko.H. (2013). *Peran Ligan Organik terhadap Pembentukan Oksida Besi di Tanah Sulfat Masam*. *Bohn 2003*, 37–46.
- Ariyani, A., R., P. A., P., E. R., & R., F. (2017). Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Arang Aktif Dengan Variasi Konsentrasi NaOH Dan Suhu. *Konversi*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.20527/k.v6i1.2992>
- Bahri, S., Musafira, M., Hardi, J., & Satrimafitrah, P. (2017). Pemanfaatan Kulit Ubi Kayu Sebagai Biosorben Pada Penjernihan Air Di Kelurahan Balaroa. *Kovalen*, 3(2), 196. <https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i2.8727>
- Chen, X., Chen, G., Chen, L., Chen, Y., Lehmann, J., McBride, M. B., & Hay, A. G. (2011). Adsorption Of Copper And Zinc By Biochars Produced From Pyrolysis Of Hardwood And Corn Straw In Aqueous Solution. *Bioresource*

- Technology*, 102(19), 8877–8884. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.078>
- Chen, Y., Zhang, X., Chen, W., Yang, H., & Chen, H. (2017). The structure Evolution Of Biochar From Biomass Pyrolysis And Its Correlation With Gas Pollutant Adsorption Performance. *Bioresource Technology*, 246(May), 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.138>
- Deng, H., Lu, J., Li, G., Zhang, G., & Wang, X. (2011). Adsorption Of Methylene Blue On Adsorbent Materials Produced From Cotton Stalk. *Chemical Engineering Journal*, 172(1), 326–334. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.013>
- Fatihaa, M., & Benguella Belkacem. (2015). Adsorption Of Methylene Blue From Aqueous Solutions Using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ Bentonite Nanocomposite. *J. Mater. Environ. Sci*, 7(1), 285–292. <https://doi.org/ISSN : 2028-2508>
- Fidel, R. B., Laird, D. A., Thompson, M. L., & Lawrinenko, M. (2017). Characterization And Quantification Of Biochar Alkalinity. *Chemosphere*, 167, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.151>
- Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S., & Yusuf, S. (2012). Adsorben Magnetik Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Karbon Aktif untuk Meyerap Thorium. *Indonesian Journal of Material Science*, 13(3), 192–197.
- Fisli, A., Safitri, R. D., Nurhasni, N., & Deswita, D. (2018). Analisis Struktur Dan Porositas Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Karbon Aktif Dari Limbah Kertas Sebagai Adsorben Magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(4), 179. <https://doi.org/10.17146/jsmi.2018.19.4.4886>
- Fitriani, D., Oktiarni, D., & Lusiana. (2015). Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Gradien*, 11(2), 1091–1095.
- Geçgel, Ü., Özcan, G., & Gürpnar, G. Ç. (2013). Removal Of Methylene Blue From Aqueous Solution By Activated Carbon Prepared From Pea Shells (*Pisum Sativum*). *Journal of Chemistry*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/614083>

- Hadayani, L., Riwayati, I., & Ratnani, R. (2015). Adsorpsi Pewarna *Methylene blue* Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi. *Jurnal Momentum UNWAHAS*, *11*(1), 114174.
- Hughes, R. (2008). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 287. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Irawan, A. (2019). Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran Dalam Kegiatan Penelitian Dan Pengujian. *Indonesian Journal Of Laboratory*, *1*(2), 1–9.
- Jiang, T. Y., Jiang, J., Xu, R. K., & Li, Z. (2012). Adsorption Of Pb(II) On Variable Charge Soils Amended With Rice-Straw Derived Biochar. *Chemosphere*, *89*(3), 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.028>
- Julinawati, J., Marlina, M., Nasution, R., & Sheilatina, S. (2015). Applying Sem-edx Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural Unsyiah*, *15*(2), 116128. <https://doi.org/10.24815/jn.v15i2.5377>
- Kant, R. (2012). Textile Dyeing Industry An Environmental Hazard. *Natural Science*, *04*(01), 22–26. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>
- Matos, T. T. S., Schultz, J., Khan, M. Y., Zanoelo, E. F., Mangrich, A. S., Araújo, B. R., Navickiene, S., & Romão, L. P. C. (2017). Using Magnetized (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / Biochar Nanocomposites) And Activated Biochar As Adsorbents To Remove Two Neuro-Active Pesticides From Waters. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *28*(10), 1975–1987. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170042>
- Maulinda, L., Za, N., Sari, D. N., Kimia, J. T., Teknik, F., & Malikussaleh, U. (2015). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *4*(2), 11–19.
- Maylani. (2016). Sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium *Info Artikel*. *5*(2), 1–6.

- Nurhasni, M.Si, N., Mar'af, R., & Hendrawati, H. (2018). Pemanfaatan Kulit Kacang Tanah (*Arachis hipogaea* L.) sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene blue*. *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(2), 156–167. <https://doi.org/10.15408/jkv.v4i2.8895>
- Nworie, F. S., Nwabue, F. I., Oti, W., Mbam, E., & Nwali, B. U. (2019). Removal Of Methylene Blue From Aqueous Solution Using Activated Rice Husk Biochar: Adsorption Isotherms, Kinetics And Error Analysis. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 64(1), 4365–4376. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072019000104365>
- Rampengan, A. M. (2017). Analisis Gugus Fungsi Pada Polimer Polyethylene Glycol (PEG) Coated-Nanopartikel Oksida Besi Hitam ( $Fe_3O_4$ ) Dan Biomolekul. *Fullerene Journal of Chemistry*, 2(2), 96. <https://doi.org/10.37033/fjc.v2i2.18>
- Saragi, T., Santika, A. S., Permana, B., Syakir, N., Kartawidjaja, M., & Risdiana. (2017). Synthesis and Properties of Iron Oxide Particles Prepared by Hydrothermal Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 196(1), 8–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/196/1/012025>
- Sari, F. I. P. (2017). Sintesis , Karakterisasi Nanopartikel Magnetit , Mg / Al NO 3 – Hidrotalsit dan. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 3(3), 44–49. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15408/jkv.v0i0.4526>
- Setiabudi, A., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material ; Rifan Hardian*.
- Tong, X. J., Li, J. Y., Yuan, J. H., & Xu, R. K. (2011). Adsorption Of Cu(II) By Biochars Generated From Three Crop Straws. *Chemical Engineering Journal*, 172(2–3), 828–834. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.069>
- U. Haura, F. Razi, H. M. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya pada Adsorpsi Logam Pb(II) dan Cr(VI). *Biopropal Industri*, 8(1),

47–54.

Yang, G., Wu, L., Xian, Q., Shen, F., Wu, J., & Zhang, Y. (2016). Removal of Congo Red and Methylene Blue from Aqueous Solutions by Vermicompost-Derived Biochars. *PloS One*, *11*(5), e0154562. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154562>

Yanlinastuti, & Fatimah, S. (2016). Pengaruh Konsentrasi Pelarut untuk Menentukan Kadar Zirkonium dalam Paduan U-Zr dengan Mengguakan Metode Spektrofotometri UV-VIS. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*, *1*(17), 22–33.

Yernisa. (2013). Rekayasa Proses Pembuatan Pewarna Bubuk Alami dari Biji Pinang (*Areca catechu L.*) dan Aplikasinya untuk Industri. *Tesis*, 1–89.

Zaya Aisyahlika, S., Lutfi Firdaus, M., (2018). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (*Cerbera Odollam*) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 Dan Reactive Blue-198. *2*(2), 148–155.

## Lampiran 1. Perhitungan

### 1. Pembuatan Larutan Induk *Methylene blue* 200 ppm

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg zat terlarut}}{\text{Volume larutan (L)}} \times 100 \%$$

$$200 \text{ ppm} = \frac{\text{mg zat terlarut}}{0,25 \text{ L}} \times 100 \%$$

$$\text{mg zat terlarut} = \frac{200 \text{ ppm} \times 0,25 \text{ L}}{100 \%$$

$$\text{mg zat terlarut} = 50 \text{ mg}$$

### 2. Pembuatan Larutan Standar *Methylene blue*

Keterangan :

M<sub>1</sub>: Konsentrasi larutan induk MB

V<sub>1</sub>: Volume larutan induk MB yang dibutuhkan

M<sub>2</sub>: Konsentrasi larutan standar MB

V<sub>2</sub>: Volume larutan standar MB

#### 0 ppm

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

$$200 \text{ ppm} \cdot V_1 = 0 \text{ ppm} \cdot 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{200 \text{ ppm}} = 0 \text{ mL}$$

#### 1 ppm

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

$$200 \text{ ppm} \cdot V_1 = 1 \text{ ppm} \cdot 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{200 \text{ ppm}} = 0,05 \text{ mL}$$

#### 2 ppm

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

$$200 \text{ ppm} \cdot V_1 = 2 \text{ ppm} \cdot 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{200 \text{ ppm}} = 0,1 \text{ mL}$$

#### 3 ppm

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

$$200 \text{ ppm} \cdot V_1 = 3 \text{ ppm} \cdot 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{3 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{200 \text{ ppm}} = 0,15 \text{ mL}$$

#### 4 ppm

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

$$200 \text{ ppm} \cdot V_1 = 4 \text{ ppm} \cdot 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{4 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{200 \text{ ppm}} = 0,2 \text{ mL}$$

#### 5 ppm

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

$$200 \text{ ppm} \cdot V_1 = 5 \text{ ppm} \cdot 10 \text{ mL}$$

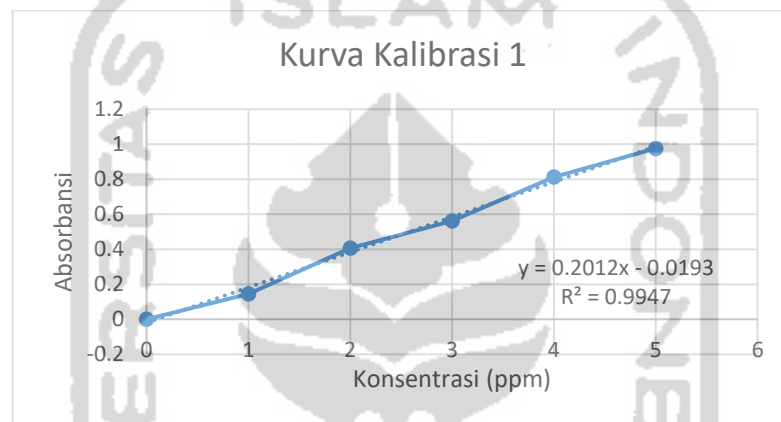
$$V_1 = \frac{5 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{200 \text{ ppm}} = 0,25 \text{ mL}$$



### 3. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar

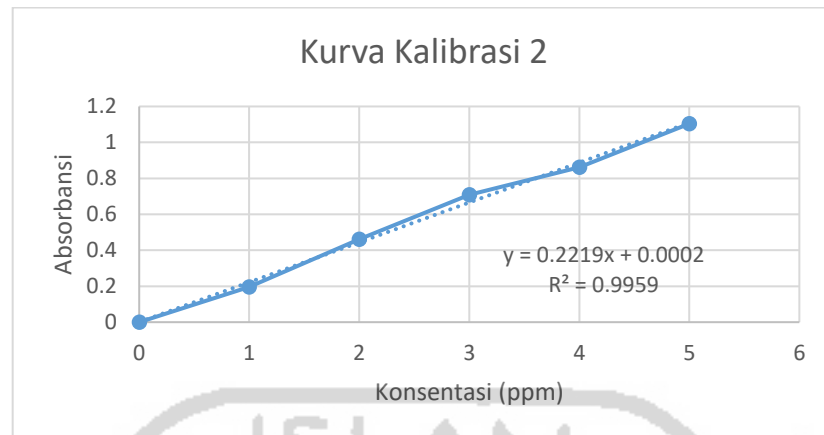
#### Kurva Kalibrasi 1

NAMA	KONSENTRASI	ABS
Std 1	0	0
Std 2	1	0,144
Std 3	2	0,407
Std 4	3	0,562
Std 5	4	0,813
Std 6	5	0,976



#### Kurva Kalibrasi 2

NAMA	KONSENTRASI	ABS
Std 1	0	0
Std 2	1	0,195
Std 3	2	0,461
Std 4	3	0,708
Std 5	4	0,861
Std 6	5	1,104



#### 4. Perhitungan Konsentrasi Variasi Massa

##### 4.1 Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

**Persamaan kurva kalibrasi 1 :  $y = 0,2012x - 0,0193$**

Keterangan:

y = Absorbansi Sampel

a = Slope

x = Konsentrasi sampel

b = Intersep

NO	Berat biochar	
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (gr)	Abs
1	0,02	0,01
2	0,02	0,007
3	0,02	0,011
4	0,04	0,008
5	0,04	0,012
6	0,04	0,011
7	0,06	0,012
8	0,06	0,01
9	0,06	0,018
10	0,08	0,019
11	0,08	0,02
12	0,08	0,019
13	0,1	0,016
14	0,1	0,019
15	0,1	0,018

**a. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,02 gram**

**Abs 0,01**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,01 + 0,0193)}{0,2012} = 0,145626 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,007**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,007 + 0,0193)}{0,2012} = 0,130716 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,011**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,011 + 0,0193)}{0,2012} = 0,150596 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata Konsentrasi Biochar Fe}_3\text{O}_4 \text{ 0,04 g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 0,142313$$

ppm

**b. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,04 gram**

**Abs 0,008**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,008 + 0,0193)}{0,2012} = 0,135686 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,012**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,012 + 0,0193)}{0,2012} = 0,155567 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,011**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,011 + 0,0193)}{0,2012} = 0,150596 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata konsentrasi Biochar Fe}_3\text{O}_4 \text{ 0,04 g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 0,147283$$

ppm

**c. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,06 gram**

**Abs 0,012**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,012 + 0,0193)}{0,2012} = 0,155567 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,01**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,01 + 0,0193)}{0,2012} = 0,145626 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,018**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,018 + 0,0193)}{0,2012} = 0,185388 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata konsentrasi Biochar Fe}_3\text{O}_4 \text{ 0,06 g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 0,162194$$

ppm

**d. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,08 gram**

**Abs 0,019**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,019 + 0,0193)}{0,2012} = 0,190358 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,02**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,02 + 0,0193)}{0,2012} = 0,195328 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,019**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,019 + 0,0193)}{0,2012} = 0,190358 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata konsentrasi Biochar Fe}_3\text{O}_4 \text{ 0,08 g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 0,192015$$

ppm

**e. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,1 gram**

**Abs 0,016**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,016 + 0,0193)}{0,2012} = 0,175447 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,019**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,019 + 0,0193)}{0,2012} = 0,190358 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,018**

$$y = 0,2012x - 0,0193$$

$$x = \frac{(0,018 + 0,0193)}{0,2012} = 0,185388 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata Konsentrasi Biochar Fe}_3\text{O}_4 \text{ 0,1 g} = \frac{(i+ii+ iii)}{3} = 0,183731$$

ppm

#### 4.2 Biochar

$$\text{Persamaan kurva kalibrasi 2 : } y = 0,2219x - 0,0002$$

Keterangan:

y = Absorbansi Sampel

a = Slope

x = Konsentrasi sampel

b = Intersep

NO	Berat biochar	Abs	fp
1	0,02	0,145	10
2	0,02	0,101	10
3	0,02	0,153	10
4	0,04	0,116	10
5	0,04	0,138	10
6	0,04	0,131	10
7	0,06	0,086	10
8	0,06	0,114	10
9	0,06	0,149	10
10	0,08	0,139	10
11	0,08	0,132	10
12	0,08	0,133	10
13	0,1	0,127	10
14	0,1	0,09	10
15	0,1	0,103	10

##### a. Massa Biochar 0,02 gram

Abs 0,145

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,145 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 6,52546192 \text{ ppm (i)}$$

Abs 0,101

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,101 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 4,542586751 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,153**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,153 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 6,885984678 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata Konsentrasi Biochar } 0,02 \text{ g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 5,9846778 \text{ ppm}$$

**b. Massa Biochar 0,04 gram**

**Abs 0,116**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,116 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 5,218566922 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,138**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,138 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 6,210004507 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,131**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,131 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 5,894547093 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata Konsentrasi Biochar } 0,04 \text{ g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 5,7743728 \text{ ppm}$$

**c. Massa Biochar 0,06 gram**

**Abs 0,086**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,086 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 3,86660658 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,114**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,114 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 5,128436233 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,149**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,149 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 6,705723299 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata Konsentrasi Biochar } 0,06 \text{ g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 5,2335887 \text{ ppm}$$

**d. Massa Biochar 0,08 gram**

**Abs 0,139**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,139 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 6,255069851 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,132**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,132 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 5,939612438 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,133**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,133 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 5,984677783 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata Konsentrasi Biochar } 0,08 \text{ g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 6,0597867 \text{ ppm}$$

**e. Massa Biochar 0,1 gram**

**Abs 0,127**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,127 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 5,714285714 \text{ ppm (i)}$$

**Abs 0,09**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,09 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 4,046867959 \text{ ppm (ii)}$$

**Abs 0,103**

$$y = 0,2219x + 0,0002$$

$$x = \frac{(0,103 - 0,0002)}{0,2219} \times 10 = 4,63271744 \text{ ppm (iii)}$$

$$\text{Rata rata Konsentrasi Biochar } 0,02 \text{ g} = \frac{(i+ii+iii)}{3} = 4,797957 \text{ ppm}$$

**5. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi ( $Q_e$ )**

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{w} \times V$$

Keterangan:

$Q_e$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$C_o$  = Konsentrasi awal (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi akhir (mg/L)

$V$  = Volume (L)

$W$  = Massa (g)

### 5.1 Biochar $Fe_3O_4$

#### a. Massa Biochar $Fe_3O_4$ 0,02 gram

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0,142313)}{0,025} \times 0,02$$

$$Q_e = 31,07211 \text{ mg/L}$$

#### b. Massa Biochar $Fe_3O_4$ 0,04 gram

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0,147283)}{0,025} \times 0,04$$

$$Q_e = 15,53295 \text{ mg/L}$$

#### c. Massa Biochar $Fe_3O_4$ 0,06 gram

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0,162194)}{0,025} \times 0,06$$

$$Q_e = 10,34909 \text{ mg/L}$$

#### d. Massa Biochar $Fe_3O_4$ 0,08 gram

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0,192015)}{0,025} \times 0,08$$

$$Q_e = 7,752495 \text{ mg/L}$$

#### e. Massa Biochar $Fe_3O_4$ 0,1 gram

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 0,183731)}{0,025} \times 0,1$$

$$Q_e = 6,204067 \text{ mg/L}$$

### 5.2 Biochar



**a. Massa Biochar 0,02 gram**

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 5,9846778)}{0,025} \times 0,02$$

$$Q_e = 23,76915 \text{ mg/L}$$

**b. Massa Biochar 0,04 gram**

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 5,7743728)}{0,025} \times 0,04$$

$$Q_e = 12,01602 \text{ mg/L}$$

**c. Massa Biochar 0,06 gram**

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 5,2335887)}{0,025} \times 0,06$$

$$Q_e = 8,236005 \text{ mg/L}$$

**d. Massa Biochar 0,08 gram**

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 6,0597867)}{0,025} \times 0,08$$

$$Q_e = 5,918817 \text{ mg/L}$$

**e. Massa Biochar 0,1 gram**

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{w} \times V$$

$$Q_e = \frac{(25 - 4,797957)}{0,025} \times 0,1$$

$$Q_e = 5,050511 \text{ mg/L}$$

**6. Perhitungan % Adsorpsi**

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

Keterangan :

$C_o$  = Konsentrasi awal (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi akhir (mg/L)

## 6.1 Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

### a. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,02 gram

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 0,142313)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 99,43075 \%$$

### b. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,04 gram

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 0,147283)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 99,41087 \%$$

### c. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,06 gram

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 0,162194)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 99,35123 \%$$

### d. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,08 gram

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 0,192015)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 99,23194 \%$$

### e. Massa Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 0,1 gram

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 0,183731)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 99,26508 \%$$

## 5.2 Biochar

### a. Massa Biochar 0,02 gram

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 5,9846778)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 76,06129 \%$$

**b. Massa Biochar 0,04 gram**

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 5,7743728)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 76,90251 \%$$

**c. Massa Biochar 0,06 gram**

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 5,2335887)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 79,06565 \%$$

**d. Massa Biochar 0,08 gram**

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 6,0597867)}{25} \times 100$$

$$\% = 75,76085 \%$$

**e. Massa Biochar 0,1 gram**

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

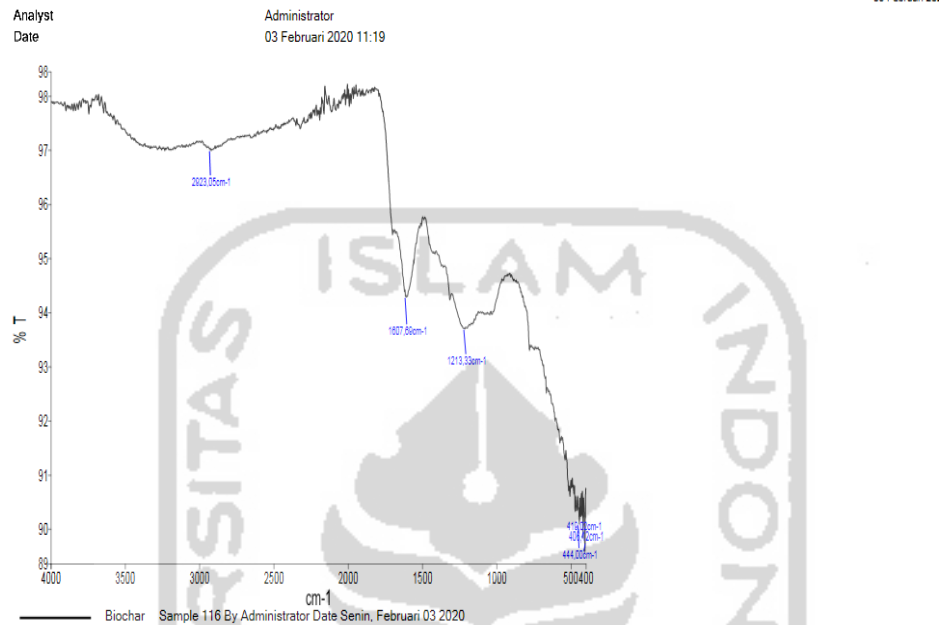
$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(25 - 4,797957)}{25} \times 100$$

$$\% \text{ adsorpsi} = 80,80817 \%$$

## Lampiran 2. Hasil Karakterisasi

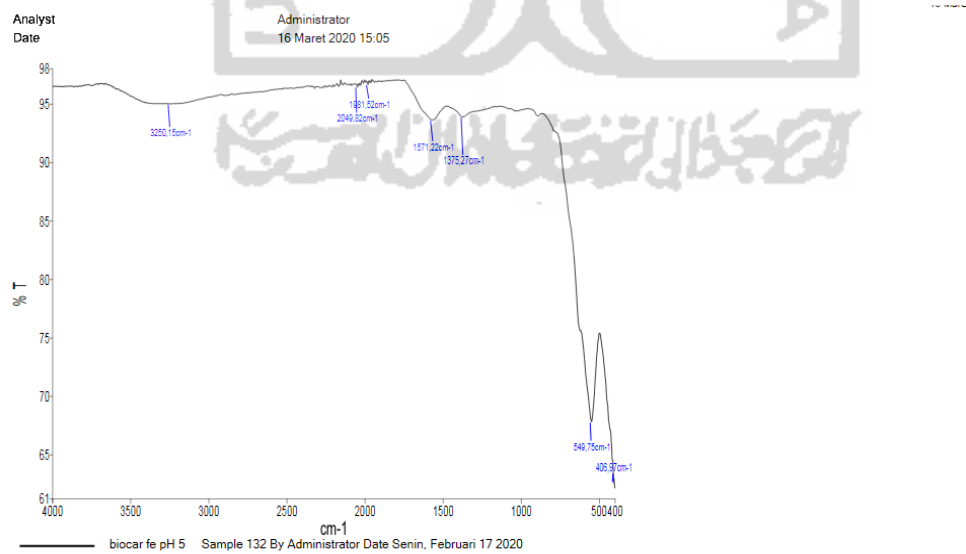
### 1. Hasil Karakterisasi menggunakan FTIR

#### a. Biochar



List of Peak Area/Height	
Peak Number	X (cm-1) (cm-1)
1	2923.05

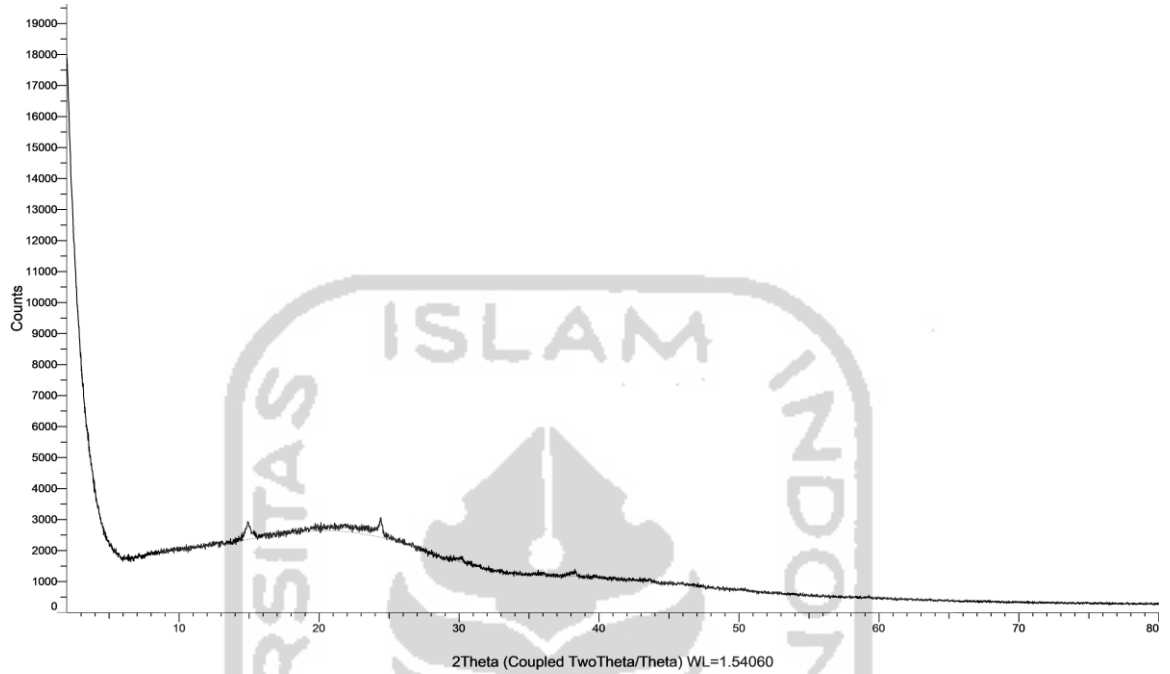
#### b. Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



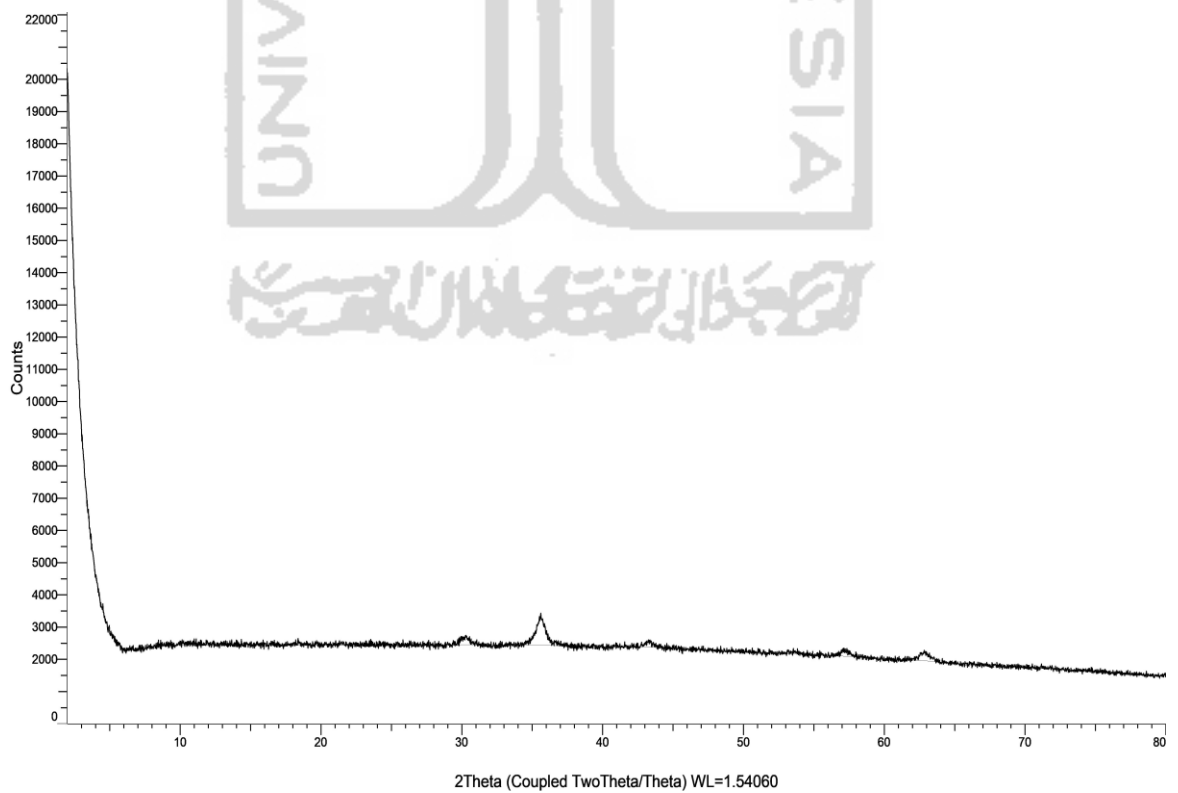
List of Peak Area/Height		
Peak Number	X (cm-1)	Y (%T)
1	3250.15	95.06

## 2. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD

### a. Biochar

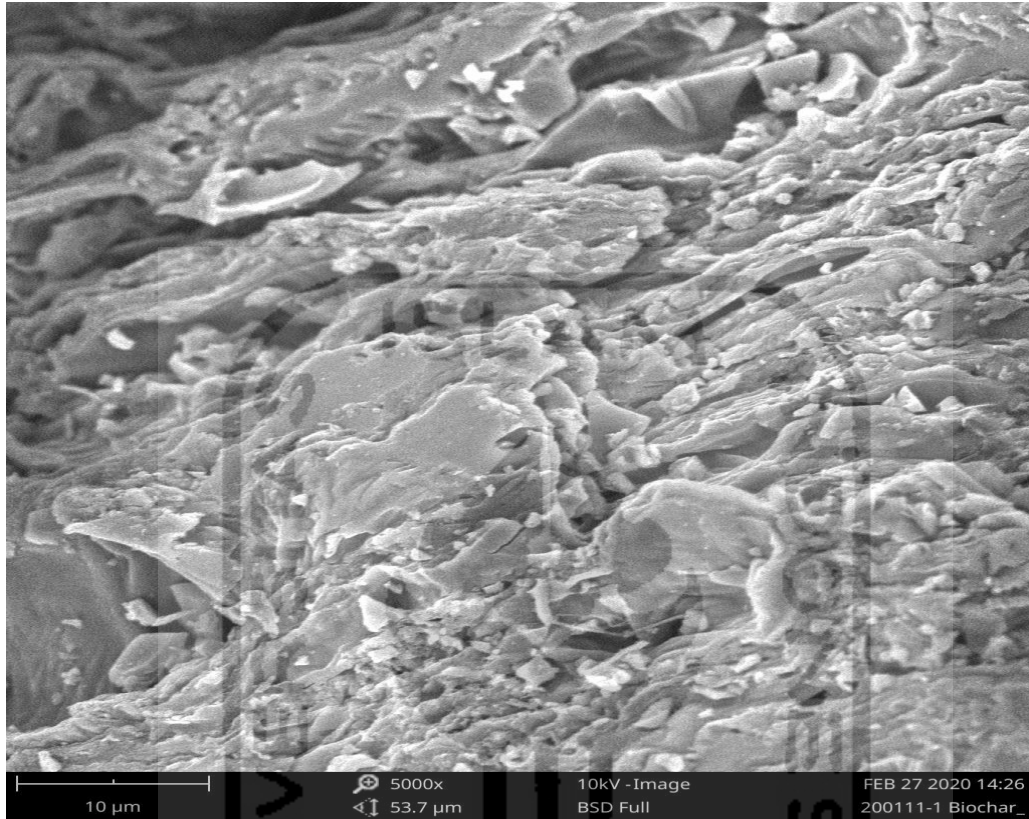


### b. Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

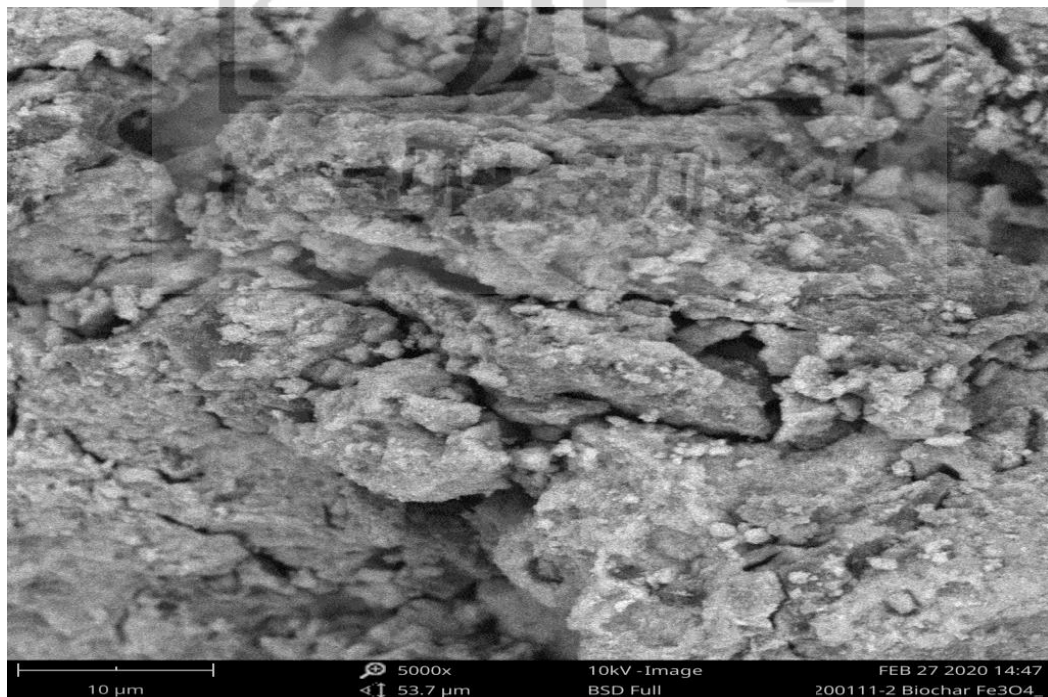


### 3. Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM

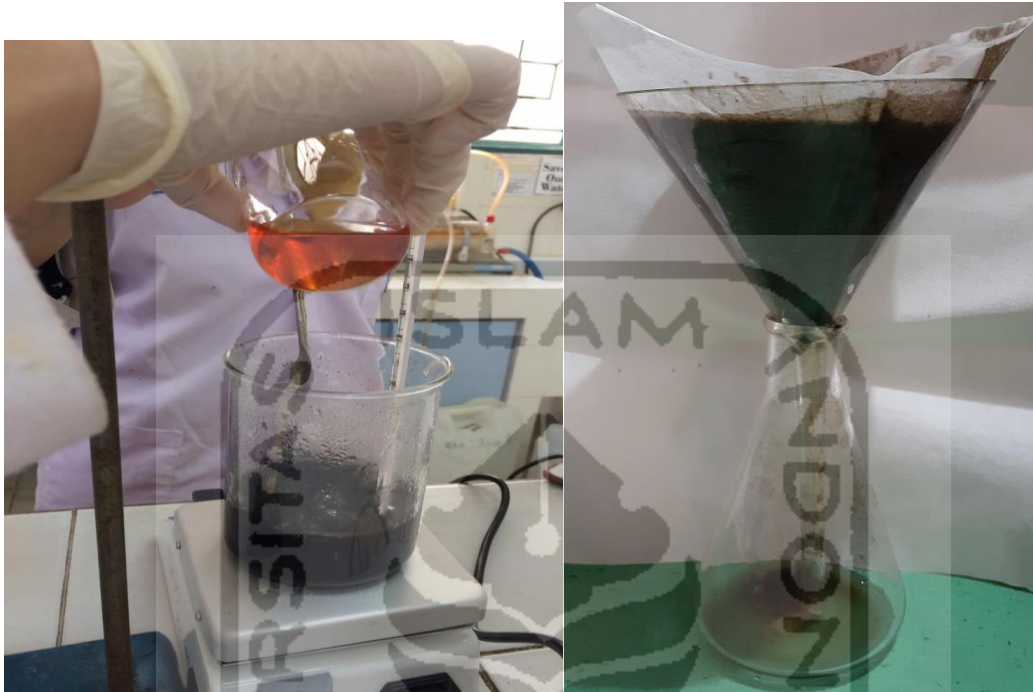
#### a. Biochar



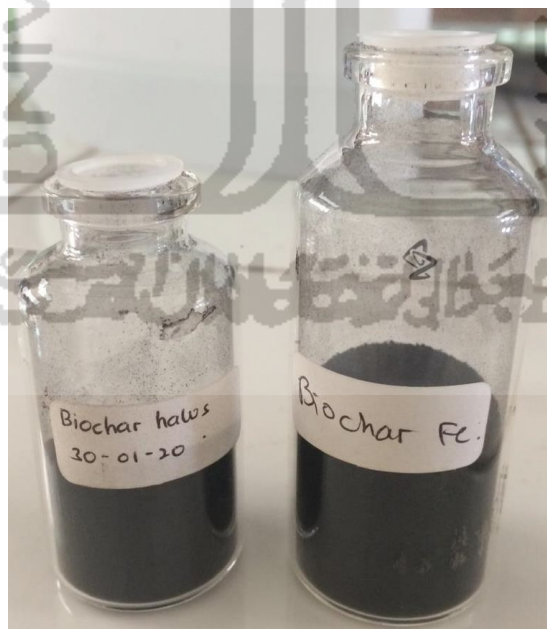
#### b. Biochar Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



### Lampiran 3. Foto Penelitian



Gambar Lampiran 1. Proses pembuatan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*



Gambar Lampiran 2. Perbandingan *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>*



Gambar Lampiran 3. Penempelan *biochar* dan *biochar/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* dengan magnet

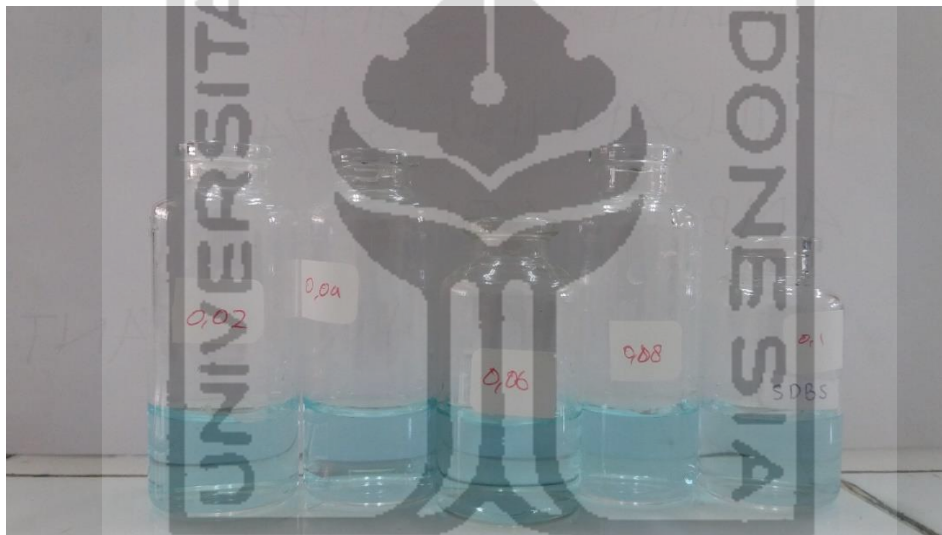


Gambar Lampiran 4. Larutan uji *methylene blue* 25 ppm

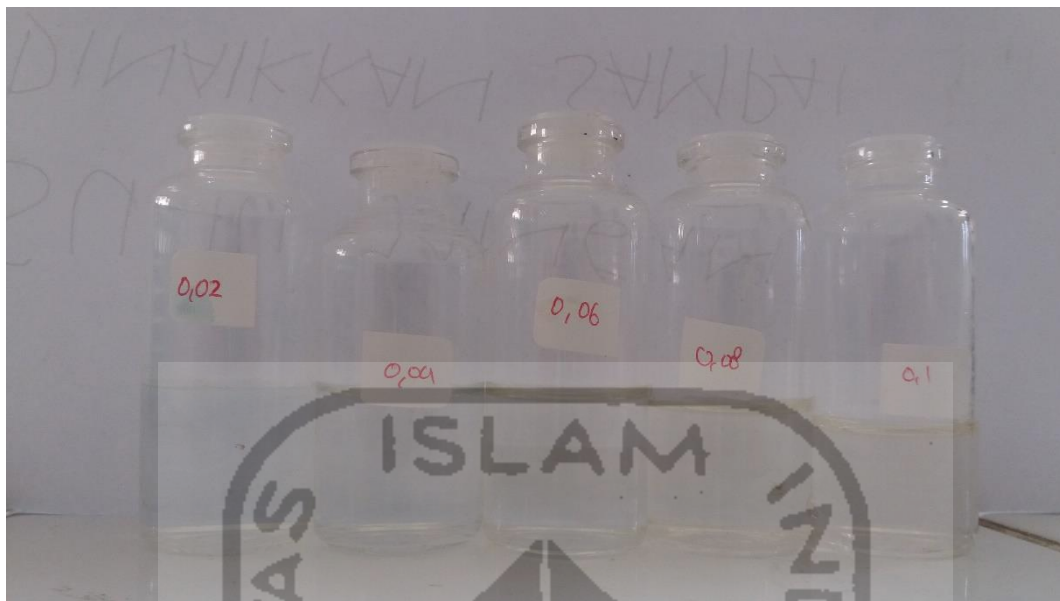




Gambar Lampiran 5. Proses adsorpsi menggunakan shaker



Gambar Lampiran 6. Hasil Adsorpsi variasi massa biochar dengan pengenceran 10x



Gambar Lampiran 7. Hasil adsorpsi variasi massa *biochar*/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$