

**ADSORPSI-DESORPSI ZAT WARNA METILEN BIRU DAN KRISTAL  
VIOLET PADA ADSORBEN KARBON AKTIF MAGNETIT DARI  
TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq.*)**

**(Skripsi)**

Oleh

**TRI HANDAYANI SURYA NINGSIH**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## ABSTRACT

### ADSORPTION-DESORPTION OF METHYLENE BLUE DYES AND CRYSTAL VIOLET ON THE MAGNETITE ACTIVATED CARBON ADSORBENT FROM PALM OIL SHELL (*Elaeis guineensis* Jacq.)

By

Tri Handayani Surya Ningsih

In this study, it has been carried out producing of activated carbon from palm oil shell activated by physical activation (CAF), chemical activation (CAFK), and then continued by coating technique with magnetite particles to obtain magnetite physical activated carbon (CAFM) and magnetite chemical activated carbon (CAFKM). The adsorbents were used to adsorption-desorption methylene blue dyes and crystal violet in solution. The carbon activation was performed by physics activation at temperature of 700 °C for 1 hour and chemical activation was performed using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 10 % activator agent. The production of magnetite physical activated carbon (CAFM) and magnetite chemical activated carbon (CAFKM) by using magnetite particles coating technique used the mixture of FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O and FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O. The yields were characterized by X-Ray Diffraction (XRD) to identify crystalline phase, Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) to determine the surface morphology and constituents of elements in activated carbon, as well as Brunauer-Emmet-Teller (BET) surface area to investigate the specific surface area of activated carbon. The adsorption process of methylene blue dyes and crystal violet were carried out by CAF, CAFK, CAFM, and CAFKM adsorbents respectively. The desorption process performed with aquades, mixture of ethanol +acetic acid 0.1 M 1:1, and mixture of ethanol+HCl 0,1 M 1:1 as eluen. The desorption result showed that mixture of ethanol+HCl 0,1 M 1:1 have greater % desorption value than mixture of ethanol +acetic acid 0.1 M 1:1 as eluen.

**Keywords:** adsorption, desorption, activated carbon, magnetite coating, methylene blue, crystal violet.

## ABSTRAK

### ADSORPSI-DESORPSI ZAT WARNA METILEN BIRU DAN KRISTAL VIOLET PADA ADSORBEN KARBON AKTIF MAGNETIT DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Oleh

Tri Handayani Surya Ningsih

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit yang diaktivasi secara fisika (CAF), aktivasi kimia (CAFK), dan dilanjutkan teknik pelapisan dengan partikel magnetit sehingga diperoleh karbon aktif fisika magnetit (CAFM) dan karbon aktif fisika kimia magnetit (CAFKM). Adsorben tersebut digunakan untuk mengadsorpsi-desorpsi zat warna metilen biru dan kristal violet dalam larutan. Aktivasi karbon dilakukan secara fisika pada suhu 700 °C selama 1 jam dan aktivasi secara kimia dilakukan dengan menggunakan agen aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 10 %. Pembuatan karbon aktif fisika magnetit (CAFM) dan karbon aktif fisika kimia magnetit (CAFKM) dilakukan dengan teknik pelapisan partikel magnetit menggunakan campuran senyawa FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O dan FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O. Karbon aktif yang telah dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi fase kristalin, *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan konstituen unsur dalam karbon aktif, dan Brunauer-Emmet-Teller (BET) *surface area* untuk mengetahui luas permukaan spesifik dari karbon aktif. Proses adsorpsi zat warna metilen biru dan kristal violet dilakukan dengan menggunakan masing-masing adsorben CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM. Proses desorpsi dilakukan dengan menggunakan akuades, campuran etanol+asam asetat 0,1 M 1:1, dan campuran etanol+HCl 0,1 M 1:1 sebagai eluen. Hasil uji desorpsi menunjukkan bahwa campuran etanol+HCl 0,1 M 1:1 memiliki hasil % desorpsi yang lebih besar jika dibandingkan campuran etanol+asam asetat 0,1 M 1:1 sebagai eluen.

**Kata kunci:** Adsorpsi, desorpsi, karbon aktif, pelapisan magnetit, metilen biru, dan kristal violet.

**ADSORPSI-DESORPSI ZAT WARNA METILEN BIRU DAN KRISTAL  
VIOLET PADA ADSORBEN KARBON AKTIF MAGNETIT DARI  
TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq.*)**

Oleh

**TRI HANDAYANI SURYA NINGSIH**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

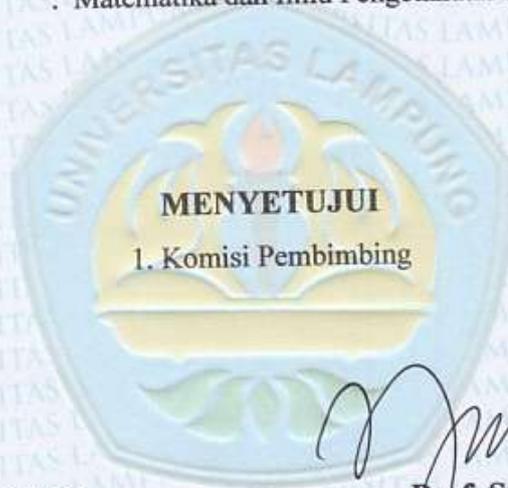
Judul Skripsi : **ADSORPSI-DESORPSI ZAT WARNA  
METILEN BIRU DAN KRISTAL VIOLET  
PADA ADSORBEN KARBON AKTIF  
MAGNETIT DARI TEMPURUNG KELAPA  
SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.)**

Nama Mahasiswa : **Tri Handayani Surya Ningsih**

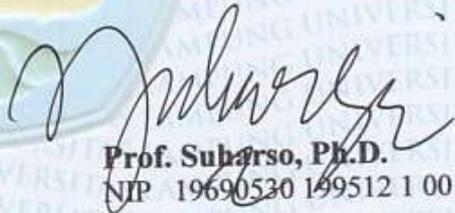
No. Pokok Mahasiswa : 1517011056

Jurusan : Kimia

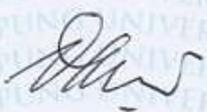
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



  
**Prof. Dr. Buhani, M.Si.**  
NIP 19690416 199403 2 003

  
**Prof. Subarso, Ph.D.**  
NIP 19690530 199512 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

  
**Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP 19740705 200003 1 001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Buhani, M.Si.**

Sekretaris : **Prof. Suharso, Ph.D.**

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Mulyono, Ph.D.**

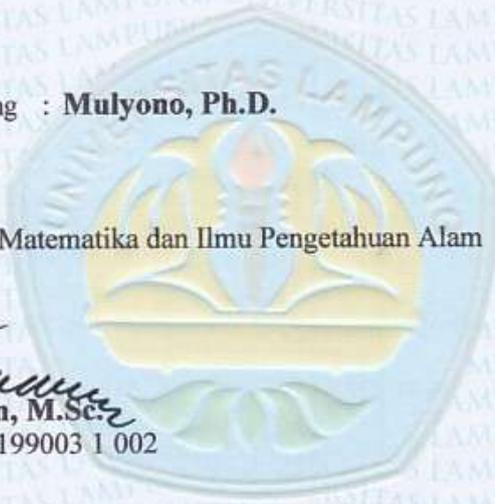


.....  
.....  
.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Suratman, M.Sc.**  
19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 November 2019**

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tri Handayani Surya Ningsih  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011056  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul  
“Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna Metilen Biru dan Kristal Violet Pada Adsorben  
Karbon Aktif Magnetit dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*)”  
adalah benar karya sendiri dan saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh  
data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk  
kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 12 Desember 2019

Menyatakan



Tri Handayani Surya Ningsih  
NPM 1517011056

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 27 Desember 1997, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Suradi (Alm) dan Ibu Heni Yunani. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Dwi Tunggal pada tahun 2003, MIN Sukajawa Bandar Lampung pada tahun 2009, MTsN 1 Tanjung Karang Bandar Lampung pada tahun 2012, dan MAN 1 Bandar Lampung pada tahun 2015. Pada tahun 2015, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa kimia, penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia anorganik II pada tahun 2019. Selain itu, penulis juga pernah menjadi anggota bidang BUM (Badan Usaha Mandiri) di Organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung Periode 2015/2016.

Pada bulan Juli 2018, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan di Laboratorium Kimia Anorganik/ Fisik yang diberi judul “Modifikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan Pelapisan Magnetit sebagai Adsorben Metilen Biru dan Ion Cu(II)”. Pada tahun yang sama

penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Negeri Agung  
Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur.

## **MOTTO**

**Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).  
(Qs. Al-Insyirah : 5-7).**

**Jika kamu ingin hidup bahagia, terikatlah pada tujuan, bukan orang atau benda  
(Albert Einstein).**

**Barang siapa yang bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri.  
(Qs. Al-Ankabut : 6).**

**Jika engkau berada di pagi hari, jangan tunggu sampai petang hari. Jika engkau berada di petang hari, jangan tunggu sampai pagi. Manfaatkanlah waktu sehatmu sebelum datang sakitmu. Manfaatkanlah waktu hidupmu sebelum datang matimu. (HR. Bukhari).**

**Maka janganlah sekali kali engkau membiarkan kehidupan dunia ini memperdayakanmu. (Qs. Fathir : 5).**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah rabbi 'alamin, segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam,  
Yang tak henti melimpahkan Rahmat, Taufiq, serta Hidayah-Nya  
Kupersembahkan skripsi ini kepada :

Kedua orang tuaku yang aku cintai karena Allah.

***Bapak Suradi (Alm) dan Ibu Heni Yunani***

Yang selalu mendo'akan, memberikan dukungan, dan senantiasa berkorban  
untukku. Terima kasih kepada bapak atas segala limpahan kasih sayang semasa  
hidup. Semoga kelak akupun dapat merangkul bapak dan ibu hingga ke  
Jannah-Nya, aamiin.

Kakak-kakakku tersayang.

***Andrew Octa Ryno dan Oscar Damar Kencana***

Rasa hormat saya kepada :

***Prof. Dr. Buhani, M.Si.***

Para Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan banyak ilmu, motivasi, dan  
pengalaman kepadaku.

Seluruh sahabat terbaikku yang selalu ada selama perjuangan mendapatkan  
gelar ini.

***Almamater tercinta Universitas Lampung.***

## SANWACANA



Alhamdulillah Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, nikmat, dan keridhoan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna Metilen Biru dan Kristal Violet Pada Adsorben Karbon Aktif Magnetit dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*)”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. . Sholawat serta salam semoga tersampaikan kepada Baginda Rosullallah Muhammad SAW dan semoga bersambung kepada keluarga, sahabat, tabi’in, tabiut tabi’in, serta ummatnya yang tsiqoh menjalankan jalan sunnah-Nya.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tuaku yang aku cintai karena Allah Bapak Suradi (Alm) dan Ibu Heni Yunani. Terima kasih atas doa, kasih sayang, perjuangan, dan dukungan bapak dan ibu yang tak terhingga untukku dan tak kan bisa terbalaskan bahkan sebesar dunia pun tak akan bisa membalas semua kebaikan ibu bapak. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat, taufiq dan hidayahNya kepada bapak dan ibu serta dapat mengumpulkan kita kembali di JannahNya, aamiin.

2. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, saran, motivasi, dan kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan ibu dan memberikan keberkahan kepada ibu dan Keluarga.
3. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku pembimbing II yang telah memberikan ilmu, nasihat, dan bimbingannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan bapak dan memberikan keberkahan kepada bapak dan keluarga.
4. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku pembahas yang telah memberikan ilmu, saran, nasihat dan bimbingannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan bapak dan memberikan keberkahan kepada bapak dan keluarga.
5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembimbing akademik, penulis ucapkan terima kasih atas ketersediannya dalam memberikan nasihat, saran, motivasi, ilmu, dan bimbingan perkuliahan selama 4 tahun ini hingga penulis menyelesaikan skripsi. Semoga Allah SWT membalas kebaikan ibu dan memberikan keberkahan kepada ibu dan keluarga.
6. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
7. Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Seluruh dosen Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, pengalaman, motivasi dan nasihat selama perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan Ibu.

9. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas dukungan dan bantuannya kepada penulis.
10. Mbak Liza, Pak Gani, Pak Jon, dan Mbak Monic atas penyediaan alat di laboratorium dan kemudahan dalam mengurus berkas setiap akan seminar, semoga selalu diberkahi oleh Allah SWT.
11. Kakak-Kakakku, Andrew Octa Ryno dan Oscar Damar Kencana yang selalu memberikan do'a, semangat, dukungan, dan perjuangan kalian untuk penulis. Semoga Allah SWT selalu memberikan kalian kesehatan, hidayah, kasih sayang, keberkahan, jodoh yang terbaik dan limpahan rahmat kepada kalian aamiin aamiin Yaa Rabb.
12. Keluarga besar Suradi Family khususnya kepada Kak Tulus dan Kak Agung yang telah memberikan do'a, dukungan, semangat, dan kasih sayang kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dan memberikan keberkahan aamiin aamiin Ya Rabb.
13. Putri Zaviera Az zahra, Palupi Pratiwi, S.E., Selvia, Desi Wulandari, dan Rizki Andreani yang telah memberikan semangat, dukungan, dan memberikan bantuan kepada penulis, serta selalu menemani penulis dalam keadaan susah maupun senang. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian, selalu dalam lindungan Allah SWT, selalu diberikan keberkahan dalam hidup, dan semoga kita bisa menjaga silaturahmi ini sampai ke jannahNya. Semangat untuk zaviera, desi, rizki kuliahnya semoga dilancarkan skripsinya, cepet wisuda guys. Sukses selalu untuk kita semua, *see you on top!!!!*
14. Teman-teman seperjuangan *Adsorption Group 2015* : Ade, Miranda, Aini, Yanti, dan Desy. Terima kasih atas kerja sama, motivasi, dan kebaikan kalian

kepada penulis hingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Mohon maaf karena penulis banyak kesalahan kepada kalian. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dan selalu dalam lindungan Allah SWT.

15. Teruntuk seluruh anggota *Adsorption Group*, kakak-kakak terbaik : Mba Fitria, Mba Ferita, Mba Ana, Mba Asdini, Mba Ismi, Mba Indah, Mba Megafit, Mba Melita, Kak Rado, Mba Fentri, Mba Murnita, Mba Annisa, serta Ibu Rahma. Terima kasih atas bantuan, nasihat, dan motivasi kepada penulis. Adik-Adik 2016-2017 yang telah memberikan semangat kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian.
16. Teruntuk anggota Tiga Serangkai terbaik : Enca dan Fitsun, terima kasih telah memberikan semangat, do'a, serta kebaikan kalian kepada penulis selama masa perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian. Sukses selalu, *see you on top guysssss!!!!!!*
17. Teman-Teman di Laboratorium Kimia Anorganik/ Fisik.
18. Keluarga seperjuanganku di Kimia Angkatan 2015. Terima kasih atas segala bantuan yang telah kalian berikan kepada penulis selama masa perkuliahan 4 tahun. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga.
19. Teman-Teman terbaik "*Gercep Squad*" : Aini, Ade, Miranda, dan Santi. Terima kasih atas canda tawa yang telah kalian berikan, kenangan selama 4 tahun kuliah, dan kebaikan kalian kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian.
20. Evita, Sofa, Nita, Aini, dan Yunisa, terima kasih atas segala bantuan yang telah kalian berikan kepada penulis. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga dan semoga selalu dalam lindungan Allah SWT.

21. Teruntuk anggota MTs *Squad* : mail, lulu, lusi, dan dini. Terima kasih atas segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Semoga silaturahmi ini tetap terjaga. Semangat guys untuk mengejar cita-cita , sukses selalu.
22. Teruntuk anggota Sahabat Madrasah : Ratu, Septi, dan Yanti. Terima kasih atas kebersamaan dan kebaikan kalian kepada penulis.
23. Terima kasih untuk Fitra Octaryani yang pernah menemani selama penelitian, semoga Allah SWT memudahkan urusanmu dan selalu dalam lindungan Allah SWT.
24. Teruntuk anggota pemburu diskon : Putri, Arum, dan Dilla. Terima kasih atas segala motivasi yang telah kalian berikan kepada penulis, canda tawa kalian, serta kebaikan yang telah kalian berikan kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian, aamiin aamiin Yaa Rabb.
25. Teman-teman Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Negeri Agung : Dwi, Feran, Aul, Bang Adien, Tosa, dan Zulka, terima kasih atas kerja sama, canda tawa, dan cerita hidup selama KKN. Semoga silaturahmi kita tetap terjalin..
26. Semua pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, semangat, serta do'a yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
27. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Akhir kata, Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, Desember 2019  
Penulis

**Tri Handayani Surya Ningsih**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang dan Masalah .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	5
C. Manfaat Penelitian.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Adsorpsi.....	7
1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Adsorpsi .....	8
2. Jenis-Jenis Adsorpsi .....	10
B. Desorpsi.....	11
C. Karbon Aktif.....	14
1. Klasifikasi Karbon Aktif .....	16
2. Proses Pembuatan Karbon Aktif .....	17
D. Tempurung Kelapa Sawit .....	21
E. Magnetit.....	23
F. Metilen Biru.....	24

G. Kristal Violet .....	26
H. Karakterisasi .....	27
1. Spektrofotometer UV-Vis .....	27
2. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	29
3. <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i> .....	30
4. <i>BET Surface Area</i> .....	32

### III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
B. Alat dan Bahan .....	35
C. Prosedur Kerja .....	36
1. Preparasi dan Pembuatan Karbon .....	36
2. Aktivasi Karbon .....	36
a) Aktivasi Fisika.....	36
b) Aktivasi Fisika-Kimia .....	37
3. Pembuatan Magnetit.....	37
4. Pembuatan Karbon Aktif-Magnetit.....	37
5. Karakterisasi Karbon Aktif .....	38
6. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat .....	39
a) Pembuatan Larutan Metilen Biru 1000 mg L <sup>-1</sup> .....	39
b) Menentukan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru.....	39
c) Membuat Kurva Standar Metilen Biru .....	39
d) Pembuatan Larutan Induk Kristal Violet 1000 mg L <sup>-1</sup> .....	39
e) Menentukan Panjang Gelombang Maksimum Kristal Violet .....	40

f) Membuat Kurva Standar Kristal Violet.....	40
7. Uji Adsorpsi-Desorpsi Larutan Metilen Biru.....	40
8. Uji Adsorpsi-Desorpsi Larutan Kristal Violet .....	41

#### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit.....	42
B. Pembuatan Karbon Aktif Magnetit.....	45
C. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> .....	46
D. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i> .....	49
E. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Menggunakan Brunauer-Emmet-Teller (BET) <i>surface area</i> .....	52
F. Uji Adsorpsi-Desorpsi .....	54
a. Metilen Biru .....	56
b. Kristal violet .....	62

#### **V. SIMPULAN DAN SARAN**

A. Simpulan.....	68
B. Saran .....	69

#### **DAFTAR PUSTAKA .....**

#### **LAMPIRAN.....**

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan karbon aktif menurut SII No.0258-79 .....	15
2. Klasifikasi karbon aktif berdasarkan bentuknya .....	16
3. Karakteristik dari tempurung kelapa sawit (Kinoshita, 1988) .....	22
4. Nama dan struktur kimia kromofor .....	25
5. Karakteristik kristal violet (Bertolini <i>et al.</i> , 2013) .....	27
6. Hasil karakterisasi menggunakan BET ( <i>surface area</i> ) .....	54
7. Hasil uji pendahuluan pembuatan karbon aktif magnetit terhadap larutan metilen biru dengan variasi KA: OB yaitu 2:1, 2:1/2, dan 2:1/4 .....	81
8. Penentuan kurva standar metilen biru .....	82
9. Penentuan kurva standar kristal violet .....	82
10. Hasil uji pendahuluan adsorpsi-desorpsi untuk penentuan perbandingan eluen yang digunakan pada adsorben CAFM terhadap larutan metilen biru .....	83
11. Data perhitungan jumlah metilen biru yang teradsorpsi pada masing-masing adsorben .....	85
12. Data perhitungan jumlah metilen biru yang terdesorpsi pada masing-masing adsorben dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+asam asetat 1:1 sebagai eluen .....	86
13. Data perhitungan jumlah metilen biru yang teradsorpsi pada masing-masing adsorben .....	87

14. Data perhitungan jumlah metilen biru yang terdesorpsi pada masing-masing adsorben dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+HCl 1:1 sebagai eluen ..... 88
15. Data perhitungan jumlah kristal violet yang teradsorpsi pada masing-masing adsorben ..... 95
16. Data perhitungan jumlah kristal violet yang terdesorpsi pada masing-masing adsorben dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+asam asetat 1:1 sebagai eluen ..... 96
17. Data perhitungan jumlah kristal violet yang teradsorpsi pada masing-masing adsorben ..... 97
18. Data perhitungan jumlah kristal violet yang terdesorpsi pada masing-masing adsorben dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+HCl 1:1 sebagai eluen ..... 98

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Perbedaan struktur grafit dan karbon aktif (Suhartana, 2006). ....	14
2. Tempurung kelapa sawit (Rasmawan, 2009). ....	22
3. Struktur metilen biru. ....	24
4. Struktur kristal violet (Bertolini <i>et al.</i> , 2013). ....	27
5. Skema alat spektrofotometer UV-Vis. ....	28
6. Tipe adsorpsi desorpsi isotermis pada padatan berdasarkan IUPAC. ....	33
7. Hasil dari proses preparasi sampel (a) tempurung kelapa sawit, (b) karbon tempurung kelapa sawit kasar, (c) karbon tempurung kelapa sawit halus. ....	42
8. (a) Karbon hasil aktivasi fisika (CAF), (b) karbon hasil aktivasi fisika kimia (CAFK). ....	45
9. Hasil pembuatan karbon aktif fisika magnetit (CAFM) (a), karbon aktif fisika kimia magnetit (CAFKM) (b). ....	46
10. Hasil karakterisasi dengan menggunakan XRD (a) CAF, (b) CAFK, (c) CAFM, dan (d) CAFKM. ....	47
11. Hasil karakterisasi dengan SEM perbesaran 5000x pada permukaan CAF (a), CAFK (b), CAFM (c), dan CAFKM (d). ....	49
12. Hasil karakterisasi dengan EDX pada adsorben CAF (a), CAFK (b), CAFM (c), CAFKM (d). ....	51

13. Pola isotherm adsorpsi-desorpsi pada adsorben CAF (a), CAFK (b), CAFM (c), dan CAFKM (d).....	53
14. Grafik hasil uji pendahuluan perbandingan eluen yang teradsorpsi dan terdesorpsi pada CAFM .....	55
15. Grafik hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru oleh masing-masing adsorben dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+asam asetat 0,1 M 1:1 sebagai eluen .....	57
16. Grafik hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru oleh masing-masing adsorben dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+HCl 0,1 M 1:1 sebagai eluen.....	59
17. Hasil SEM pada adsorpsi metilen biru oleh adsorben (a) CAF, (b) CAFK, (c) CAFM, dan (d) CAFKM.....	61
18. Grafik hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet oleh masing-masing adsorben dengan menggunakan etanol+asam asetat 0,1 M 1:1 sebagai eluen.	63
19. Grafik hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet oleh masing-masing adsorben dengan menggunakan etanol+HCl 0,1 M 1:1 sebagai eluen. ....	64
20. Hasil SEM pada adsorpsi kristal violet oleh adsorben (a) CAF, (b) CAFK, (c) CAFM, dan (d) CAFKM.....	66
21. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimum metilen biru.....	80
22. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimum kristal violet.....	80
23. Kurva standar metilen biru untuk proses uji adsorpsi-desorpsi. ....	82
24. Kurva standar kristal violet untuk proses uji adsorpsi-desorpsi. ....	83
25. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen M+AA 1:1.....	90

26. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen M+AA 1:2.....	90
27. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	91
28. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen E+AA 1:2.....	91
29. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen M+HCl 1:1.....	91
30. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen M+HCl 1:2.....	92
31. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	92
32. Hasil uji pendahuluan pada adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen E+HCl 1:2.....	92
33. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAF dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	93
34. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAF dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	93
35. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFK dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	93
36. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFK dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	94
37. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFKM dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	94

38. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan metilen biru pada adsorben CAFKM dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	94
39. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAF dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	100
40. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAF dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	100
41. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAFK dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	100
42. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAFK dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	101
43. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	101
44. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAFM dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	101
45. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAFKM dengan menggunakan eluen E+AA 1:1.....	102
46. Hasil uji adsorpsi-desorpsi larutan kristal violet pada adsorben CAFKM dengan menggunakan eluen E+HCl 1:1.....	102

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang dan Masalah

Pencemaran air merupakan salah satu masalah yang serius di dunia karena pencemaran air dapat menyebabkan manusia, hewan, dan tumbuhan tidak mampu bertahan hidup. Pada saat ini, pencemaran air dapat disebabkan karena perkembangan industri yang merupakan salah satu penghasil limbah terbesar. Limbah yang dihasilkan dapat berupa limbah cair, limbah padat, maupun gas, dan dapat berupa logam berat seperti Pb, Cd, Cu, Zn (Suharso *et al.*, 2010; Buhani dan Suharso, 2010; Buhani and Suharso, 2010; Endah *et al.*, 2016), serta zat pencemar organik seperti senyawa fenol, zat warna tekstil, peptisida, poliklorobinefil (PCB), dan trikloroetilen (TCE) (Andayani dan Sumartono, 1999).

Salah satu jenis limbah cair yang paling umum dijumpai dan berbahaya bagi lingkungan adalah limbah zat warna yang berasal dari industri tekstil.

Limbah zat warna berasal dari proses pewarnaan (*dyeing*) yaitu berupa zat warna yang larut dalam air dan memiliki sifat *non biodegradable* karena memiliki struktur molekul kompleks aromatik yang membuatnya lebih stabil sehingga sulit untuk diurai secara hayati (Christina dkk., 2007).

Limbah zat warna merupakan racun bagi tubuh manusia. Salah satu contohnya adalah zat warna metilen biru yang biasanya digunakan dalam industri tekstil. Metilen biru dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit (Hamdaoui and Chiha, 2006). Konsentrasi maksimum metilen biru yang diperbolehkan yaitu  $5-10 \text{ mg L}^{-1}$ , jika melebihi kadar ambang batas maka perlu dicari alternatif untuk mengatasinya (Handayani dkk., 2015).

Selain zat warna metilen biru, kristal violet juga merupakan salah satu jenis zat warna kation yang penggunaannya sangat luas dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam industri tekstil yang digunakan dalam pembuatan kertas. Selain itu, zat warna kristal violet juga biasa digunakan dalam pewarnaan pada bakteri gram negatif dan sebagai pewarnaan histologi di kedokteran hewan. Di samping memiliki banyak manfaat dalam kehidupan sehari-hari ternyata kristal violet juga bersifat mutagen dan beracun (Au *et al.*, 1978). Kristal violet juga diklasifikasikan sebagai molekul yang sulit dimetabolisme oleh mikroorganisme sehingga dapat bertahan dalam berbagai lingkungan (Ferreira *et al.*, 2015).

Metode konvensional yang telah dilakukan untuk menanggulangi masalah limbah zat warna seperti oksidasi (Vaiano *et al.*, 2015), koagulasi, flokulasi (Saitoh *et al.*, 2014), adsorpsi (Weber *et al.*, 2014), dan pertukaran ion (Wu *et al.*, 2008). Metode konvensional tersebut sangat rumit dan mahal karena beberapa metode tersebut memerlukan tambahan bahan kimia sehingga dapat

menghasilkan produk beracun. Diantara metode diatas, salah satu teknik yang efektif untuk memisahkan limbah zat warna adalah dengan metode adsorpsi. Metode adsorpsi ini memiliki kelebihan dari metode yang lain karena prosesnya yang lebih sederhana, biayanya relatif murah, ramah lingkungan, dan tidak adanya efek samping zat beracun (Buhani *et al.*, 2011; Buhani *et al.*, 2017; Buhani *et al.*, 2017a; Suharso and Buhani, 2011).

Metode adsorpsi termasuk salah satu teknik pengolahan limbah yang diharapkan dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi senyawa organik yang berlebihan. Salah satu adsorben yang sering digunakan dalam proses adsorpsi adalah karbon aktif. Karbon aktif dapat dimanfaatkan sebagai adsorben yang penggunaannya sangat populer hingga saat ini karena memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, mudah diaplikasikan, dan biaya yang diperlukan relatif murah (Bansal *et al.*, 1988).

Beberapa limbah pertanian yang dapat dijadikan sebagai adsorben antara lain dari tempurung kelapa (Pambayun dkk., 2013), tandan kosong kelapa sawit (Purwanto, 2011; Hartanto dan Ratnawati, 2010), dan tempurung kelapa sawit. Diantara limbah pertanian diatas, salah satu limbah yang berpotensi untuk menghasilkan karbon aktif adalah tempurung kelapa sawit.

Tempurung kelapa sawit merupakan limbah industri yang berasal dari pabrik pengolahan minyak yaitu *crude palm oil* (CPO). Limbah tempurung kelapa sawit jumlahnya mencapai hingga 60% dari produksi minyak. Sehingga limbah tersebut perlu dimanfaatkan agar tidak mencemari lingkungan. Tempurung kelapa sawit mengandung selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa

sebesar 26% yang baik untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif (Rasmawan, 2009). Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dijelaskan bahwa karbon aktif yang telah diaktivasi secara fisika pada temperatur 500-800 °C mampu mengadsorpsi zat warna metilen biru dengan kapasitas adsorpsi sebesar 185,2 mg g<sup>-1</sup> (Hameed, 2009).

Karbon aktif dari tempurung kelapa sawit sangat efektif dalam mengadsorpsi limbah cair karena mengandung bahan organik yang berupa lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Keunggulan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit salah satunya adalah memiliki daya serap yang besar, akan tetapi adsorben karbon aktif dari tempurung kelapa sawit juga memiliki kekurangan yaitu pada proses filtrasi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan melakukan modifikasi karbon aktif dengan pelapisan magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>).

Modifikasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan pelapisan magnetit bertujuan untuk meminimalisir kesulitan serta berkurangnya karbon aktif pada saat proses filtrasi. Karbon aktif yang telah dilapisi dengan pelapisan magnetit bersifat magnet sehingga proses pemisahan adsorben dan filtrat lebih mudah dengan memanfaatkan sifat magnet adsorben (Buhani dkk., 2013; Gholamvaisi *et al.*, 2014).

Pada dasarnya metode pemisahan limbah zat warna dari air buangnya secara biologis di atas belum dapat menyelesaikan masalah lingkungan yang ada, bahkan dapat menimbulkan masalah baru khususnya bagi lingkungan perairan apabila adsorben yang telah mengikat limbah beracun tersebut tidak

diolah lebih lanjut. Sehingga perlu dicari metode yang efektif untuk mengolah kembali adsorben yang telah menyerap adsorbat tersebut agar benar-benar aman bagi lingkungan, salah satu caranya adalah dengan melepaskan kembali adsorbat yang telah diserap oleh adsorben (desorpsi). Metode desorpsi juga dapat digunakan untuk meregenerasi adsorben sehingga dapat digunakan kembali dan dapat mengekstrak logam yang telah terikat pada adsorben (Triani, 2006).

Pada penelitian ini akan dilakukan uji adsorpsi zat warna metilen biru dan kristal violet oleh karbon aktif tempurung kelapa sawit yang bersifat magnetit dilanjutkan uji desorpsi menggunakan beberapa eluen seperti akuades, campuran etanol+asam asetat, dan campuran etanol+HCl.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mempelajari proses adsorpsi-desorpsi zat warna metilen biru dan kristal violet dalam larutan oleh adsorben karbon aktif dari tempurung kelapa sawit yang dimodifikasi dengan pelapisan magnetit dengan menggunakan beberapa eluen.

## **C. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang proses pembuatan, modifikasi, dan karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan pelapisan magnetit sehingga dapat diaplikasikan sebagai adsorben limbah zat warna.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Adsorpsi

Adsorpsi atau penyerapan merupakan suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang memiliki pori, karena proses adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu di dalam adsorben. Proses adsorpsi terjadi akibat adanya gaya *Van Der Waals*, gaya elektrostatik, ikatan hidrogen, dan ikatan kovalen (Oscik, 1982).

Proses adsorpsi salah satunya terjadi akibat adanya interaksi melalui gaya elektrostatik. Gaya elektrostatik ini timbul karena adanya gaya tarik menarik antara ion-ion yang berlawanan muatannya. Gaya tersebut akan menimbulkan tarikan ion-ion ke permukaan adsorben yang muatannya berlawanan sedangkan ikatan hidrogen terjadi antara molekul jika atom hidrogen berikatan secara kovalen dengan atom yang sangat elektronegatif. Ikatan kovalen ini terjadi karena penggunaan bersama elektron atau pembentukan ikatan kompleks antara gugus donor dan akseptor elektron (Keenan and Kleinfelter, 1984).

## 1. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Adsorpsi

Menurut Kardivelu *et al.* (2003), beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi dari karbon aktif, yaitu:

### a. Sifat Adsorben

Pembentukan luas permukaan internal yang berukuran mikro atau meso akan menyebabkan pori-pori dari karbon aktif semakin bertambah dan akan menyebabkan jumlah molekul adsorbat yang diserap oleh adsorben akan meningkat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya luas permukaan adsorben akan meningkatkan penyerapan yang terjadi.

### b. Ukuran Partikel

Ukuran partikel yang semakin kecil akan mempercepat proses adsorpsi. Sehingga digunakan karbon aktif yang telah dihaluskan dengan ukuran mikro atau meso untuk mempercepat proses adsorpsi.

### c. Sifat Adsorbat

Karbon aktif dapat menyerap molekul adsorbat yang berukuran lebih kecil atau sama dengan pori adsorben, karena proses adsorpsi oleh karbon aktif terjadi karena terjebaknya molekul adsorbat dalam rongga karbon aktif. Proses adsorpsi akan semakin besar apabila ukuran molekul adsorbat lebih kecil dari pori adsorben.

#### d. Temperatur

Faktor yang mempengaruhi temperatur pada proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan, apabila pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dapat dilakukan pada titik didihnya. Pada senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau apabila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

#### e. pH (Derajat Keasaman)

Proses adsorpsi pada senyawa organik akan meningkat apabila pH diturunkan, dapat dilakukan dengan penambahan asam-asam mineral karena memiliki kemampuan untuk mengurangi kemampuan ionisasi asam organik. Apabila pH asam organik dinaikkan dengan penambahan alkali, maka proses adsorpsi akan berkurang akibat terbentuknya garam. Pada pH rendah, jumlah ion  $H^+$  lebih besar, dimana ion  $H^+$  tersebut akan menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan  $-$ , sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi. Sebaliknya pada pH yang tinggi, jumlah ion  $OH^-$  berlimpah, sehingga menyebabkan proses difusi bahan-bahan organik menjadi terhalang.

#### f. Waktu Kontak

Apabila karbon aktif ditambahkan pada suatu cairan, maka diperlukan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu kontak yang lama akan

memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih baik.

## 2. Jenis-Jenis Adsorpsi

Adsorpsi dibagi menjadi 2 jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia:

### a. Adsorpsi Fisika (Fisisorpsi)

Pada proses adsorpsi fisika, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan yang lemah dan terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals*, besarnya energi adsorpsi sekitar  $10 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Adsorpsi ini bersifat reversibel sehingga mudah digantikan dengan molekul lain, karena pada proses adsorpsi ini terjadi gaya fisika sehingga molekul yang teradsorpsi tidak terikat kuat pada adsorben (Atkins, 1999). Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga membentuk lapisan *multilayer* pada permukaan adsorben dan ikatan yang terbentuk dapat diputus dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada suhu  $150\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$  selama 2-3 jam.

### b. Adsorpsi Kimia (Kemisorpsi)

Pada proses adsorpsi kimia, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan yang kuat sehingga membentuk lapisan *monolayer*. Energi adsorpsi kimia yaitu minimal  $20,92 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Adsorpsi ini terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul adsorbat dengan adsorben, sehingga sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*irreversible*). Menurut Alberty (1997), kemungkinan pelepasan adsorbat dari adsorben pada adsorpsi kimia sangat kecil. Hal ini disebabkan karena pada adsorpsi ini terjadi pada suhu tinggi di

atas suhu kritis adsorbat, sehingga diperlukan energi yang lebih besar untuk melakukan proses desorpsi untuk memutuskan ikatan antara adsorben dengan adsorbat.

Jumlah zat yang teradsorpsi, rasio distribusi, dan koefisien selektifitas pada proses adsorpsi suatu adsorbat terhadap adsorben dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q = (C_o - C_e)V/W \quad (1)$$

$$D = Q/C_e \quad (2)$$

$$\% A = (C_o - C_e)/C_o \times 100 \quad (3)$$

Dengan Q adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $C_o$  adalah konsentrasi awal adsorbat sebelum teradsorpsi ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $C_e$  adalah konsentrasi adsorbat setelah teradsorpsi ( $\text{mmol L}^{-1}$ ), W adalah massa adsorben (g), V adalah volume larutan adsorbat (L), % A adalah persentase teradsorpsi, dan D adalah rasio distribusi ( $\text{mL g}^{-1}$ ) (Buhani and Suharso, 2009; Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2012).

## B. Desorpsi

Metode pemisahan zat warna dari air buangnya secara biologis pada dasarnya belum dapat menyelesaikan masalah pada lingkungan yang ada, bahkan dapat menimbulkan masalah baru khususnya bagi lingkungan perairan jika adsorben yang telah mengikat adsorbat toksik tidak diolah lebih lanjut. Oleh karena itu perlu dicari metode yang efektif untuk mengolah kembali adsorben yang telah menyerap adsorbat tersebut agar benar-benar aman bagi

lingkungan. salah satu metode yang dapat digunakan untuk melepaskan kembali zat warna yang telah diserap oleh adsorben adalah menggunakan metode desorpsi. Desorpsi adalah suatu proses penyingkiran atom, molekul, atau ion yang terjerat pada permukaan (Oxford, 1994). Desorpsi dapat juga berarti suatu fenomena dimana suatu zat lepas dari permukaan. Oladipo and Gazi (2014), telah meneliti proses adsorpsi-desorpsi oleh *alginate/acid activated bentonite composite beads* untuk menghilangkan zat warna kristal violet dengan menggunakan eluen  $H_2SO_4$ , NaOH,  $Na_2SO_4$ , dan  $HNO_3$ . Kemudian persentase kristal violet yang terdesorpsi dihitung menggunakan rumus:

$$\% \text{ Desorpsi} = \frac{my}{mx} \times 100 \quad (4)$$

Dimana  $my$  adalah jumlah kristal violet yang terdesorpsi, dan  $mx$  adalah jumlah kristal violet yang teradsorpsi. Sehingga diperoleh % desorpsi dari kristal violet dengan menggunakan eluen  $H_2SO_4$ , NaOH,  $Na_2SO_4$ , dan  $HNO_3$  berturut-turut yaitu 85,23, 64,45, 72,34, dan 92,39 %.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Li *et al.* (2009), menyatakan bahwa proses adsorpsi-desorpsi oleh *iron-oxide coated porous ceramic filter* untuk menghilangkan zat warna metilen biru dengan menggunakan eluen akuades, NaOH, dan asam nitrat diperoleh % desorpsi berturut-turut yaitu 11,25, 39,67, dan 82,56%.

Proses desorpsi dapat terjadi bila proses adsorpsi yang terjadi sudah maksimal, permukaan adsorben jenuh/ tidak mampu lagi menyerap adsorbat dan terjadi kesetimbangan. Pada proses adsorpsi, diharapkan bahwa jumlah ion logam

atau adsorbat yang teradsorpsi lebih banyak dan mudah dilepaskan kembali (desorpsi), kuat atau lemahnya interaksi antara ion logam yang teradsorpsi dapat diketahui dengan menentukan mekanisme reaksi antara ion logam (adsorbat) dan adsorben (Buhani *et al.*, 2018).

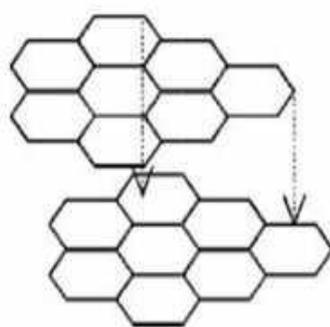
Desorpsi pada biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan larutan tertentu untuk memulihkan kemampuan biomassa agar tidak rusak dan dapat digunakan kembali. Larutan yang biasa digunakan untuk desorpsi yaitu HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, asam asetat, dan HNO<sub>3</sub> dengan konsentrasi yang bervariasi tergantung pada jenis adsorben dan logam yang diserap (Diniz and Volesky, 2005).

Air dapat digunakan sebagai salah satu medium pelarut, karena air memiliki sifat-sifat yaitu: (1). Air memiliki daerah cair yang luas, yaitu titik beku 0 °C dan titik didih 100 °C. (2). Air merupakan senyawa polar sehingga memiliki kemampuan yang tinggi untuk melarutkan bahan-bahan anorganik, umumnya bersifat ionik maupun polar. (3). Air memiliki sifat netral, artinya air tidak bersifat asam dan tidak bersifat basa dan dapat mengalami desosiasi. Syarat agar suatu senyawa dapat dilarutkan dalam air adalah: (1). Apabila ikatan antara zat terlarut dengan molekul air lebih kuat daripada ikatan antara molekul air, terutama ikatan hidrogen. (2). Ikatan antara partikel dalam zat terlarut lebih lemah daripada ikatan antara zat terlarut dengan molekul air (Missler and Tar, 1991).

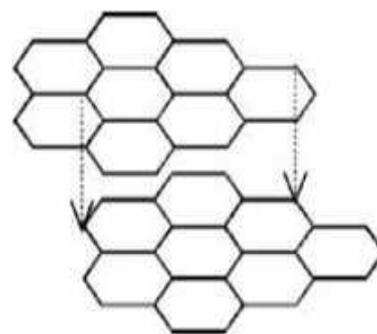
### C. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif memiliki luas permukaan berkisar 3000-3500  $\text{mg g}^{-1}$ . Luas permukaan pori berhubungan dengan daya serap dari karbon aktif sehingga semakin luas permukaan pori maka semakin tinggi daya serapnya. Daya serap dari karbon aktif sangat besar yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif (Razak, 1994). Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaannya.

Struktur dari karbon aktif dengan karbon biasa memiliki perbedaan yang terletak pada persilangan rantai karbon dan ketebalan lapisannya (*microcrystalin*) seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Struktur Grafit



Struktur Karbon Aktif

**Gambar 1.** Perbedaan struktur grafit dan karbon aktif (Suhartana, 2006).

Menurut SII (Standar Internasional Indonesia), karbon aktif yang baik mempunyai persyaratan seperti yang tercantum pada Tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Persyaratan karbon aktif menurut SII No.0258-79

Jenis	Persyaratan (%)
Bagian yang hilang pada pemanasan	Maksimum 15
Air	Maksimum 10
Abu	Maksimum 2,1
Daya serap terhadap iod	Minimum 20

Pada penelitian sebelumnya karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben zat warna dan logam berat. Menurut Widhianti (2010), karbon aktif dari biji kapuk dapat mengadsorpsi zat warna *Rhodamin B* dengan kapasitas adsorpsi sebesar 15,4292 mg g<sup>-1</sup>. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ningrum dkk. (2012), menjelaskan bahwa karbon aktif dapat mengurangi kadar warna dari *Remazol brilliant blue* dengan hasil kapasitas adsorpsi maksimumnya sebesar 10,10 mg g<sup>-1</sup>. Karbon aktif dari batang pisang juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi larutan logam Timbal (Pb) (Husin dan Rosnelly, 2005). Sehingga dapat disimpulkan bahwa karbon aktif merupakan adsorben yang baik untuk adsorpsi limbah zat warna.

## 1. Klasifikasi Karbon Aktif

**Tabel 2.** Klasifikasi karbon aktif berdasarkan bentuknya

Jenis Karbon	Ukuran (mm)	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon (PAC)</i>	<0,18	Digunakan pada fasa cair	
<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	0,2-5	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon (EAC)</i>	0,8-5	Digunakan pada fasa gas	

(Martin dkk., 2008).

Menurut Sukir (2008), berdasarkan pori-porinya karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: (1). Makropori, makropori merupakan bagian paling luar dari karbon aktif, memiliki jari-jari lebih besar dari 50 nm dengan volume pori-pori  $0,2-0,5 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  dan luas permukaan  $0,2-2 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Makropori dan mesopori memberikan kapasitas adsorpsi karbon aktif dan kegunaanya terbentuk selama aktivasi. (2). Mesopori, mesopori memiliki jari-jari 2-50 nm dengan volume pori-pori mencapai  $0,02-0,01 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  dengan luas permukaan  $1-100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . (3). Mikropori, mikropori memiliki jari-jari terkecil dengan jari-

jari kurang dari 2 nm dan volume pori  $0,15-0,5 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  serta luas permukaanya mencapai  $100-1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ .

## **2. Proses Pembuatan Karbon Aktif**

Pada dasarnya terdapat empat proses dalam pembuatan karbon aktif:

### **a. Pemilihan Bahan Dasar**

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon seperti batubara, tempurung kelapa, kayu, sekam padi, tulang binatang, kulit biji kopi, dan lain-lain. Bahan dasar yang akan dijadikan karbon aktif harus memenuhi beberapa kriteria yaitu unsur anorganik yang rendah, ketersediaan bahan (tidak mahal dan mudah didapat), memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi (Marsh and Fransisco, 2006).

### **b. Dehidrasi**

Proses dehidrasi adalah suatu proses penghilangan kadar air dalam bahan baku yang bertujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi, dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari langsung atau memanaskannya di dalam oven. Proses dehidrasi menghasilkan bahan baku yang kering karena kandungan airnya telah menguap (Sembiring dan Sinaga, 2003).

### **c. Karbonisasi**

Proses karbonisasi adalah suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas, biasanya

dilakukan dalam tanur. Tujuan karbonisasi adalah untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) yang terkandung pada bahan dasar, hilangnya zat yang mudah menguap pada karbon akan membuat struktur pori mulai terbuka. Prinsip dari proses ini adalah menguapkan keberadaan oksigen yang minimal atau tidak ada sama sekali agar proses pembakaran menjadi tidak sempurna. Pada proses karbonisasi, material padat yang tertinggal adalah karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang sempit dan proses karbonisasi menghasilkan arang yang mempunyai daya serap rendah karena masih ada senyawa pengotor, diantaranya hidrokarbon, air, dan oksida-oksida (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Pada proses karbonisasi terdiri dari empat tahap yaitu pada suhu 100-120 °C terjadi penguapan air dan sampai suhu 270 °C mulai terjadi peruraian selulosa. Pada suhu 270-310 °C mengalami reaksi eksotermik, dimana terjadi peruraian selulosa secara intensif menjadi larutan *piroligant*, gas kayu, dan sedikit tar. Pada suhu 310-500 °C terjadi peruraian lignin dengan menghasilkan lebih banyak tar dan *piroligant* yang menurun, serta gas CO<sub>2</sub> yang menurun sedangkan gas CO, CH<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub> meningkat. Pada suhu 500-1000 °C adalah tahap dari pemurnian karbon atau kadar karbon (Sudrajat, 1993). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses karbonisasi adalah waktu karbonisasi dan suhu karbonisasi (Elly, 2008).

Pada proses karbonisasi perlu ada pembatasan suhu karena apabila suhu yang digunakan terlalu tinggi dapat mengakibatkan pembentukan abu yang terlalu

banyak sehingga dapat menutupi pori-pori dan menurunkan luas permukaan dari karbon aktif.

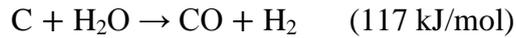
#### d. Aktivasi

Proses aktivasi adalah suatu proses untuk meningkatkan pori-pori permukaan dari karbon aktif dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga dapat meningkatkan daya adsorpsi terhadap cairan dan gas. Metode aktivasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif adalah:

##### 1. Aktivasi fisika

Proses aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap, dan  $\text{CO}_2$ . Pada proses aktivasi fisika, senyawa-senyawa produk samping akan terlepas dari karbon aktif sehingga luas pori akan bertambah dan daya adsorpsinya akan meningkat. Pada proses aktivasi fisika juga harus diperhatikan suhu aktivasinya, karena pada suhu aktivasi yang terlalu tinggi beresiko terjadinya oksidasi lebih lanjut pada karbon sehingga merusak ikatan C-C dalam bidang lempeng heksagonal karbon yang akan menurunkan luas permukaan internal (Diao *et al.*, 2002). Pada proses aktivasi fisika menyebabkan banyak terjadi pengurangan massa karbon aktif yang dihasilkan, hal ini disebabkan karena terjadi pembentukan struktur karbon (Marsh and Fransisco, 2006).

Reaksi gasifikasi antara karbon dengan gas  $\text{CO}_2$  dan uap air adalah reaksi endotermis yaitu sebagai berikut:



Reaksi gasifikasi antara karbon dan oksigen adalah reaksi eksotermis sebagai berikut:



Proses aktivasi fisika menyebabkan banyak terjadi pengurangan massa karbon aktif yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena terjadi pembentukan struktur karbon (Marsh and Fransisco, 2006).

## 2. Aktivasi Kimia

Proses aktivasi kimia adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia sebagai agen pengaktivasi. Agen pengaktivasi atau aktivator juga berfungsi sebagai zat pengaktif dan zat ini akan mengaktifkan atom-atom karbon sehingga daya serapnya menjadi lebih baik. Zat aktivator juga bersifat mengikat air, sehingga air yang terikat kuat pada pori-pori karbon dan tidak lepas selama proses karbonisasi menjadi lepas. Zat aktivator tersebut akan memasuki pori dan membuka permukaan arang yang tertutup, sehingga pada saat dilakukan pemanasan, senyawa pengotor yang terdapat dalam pori menjadi lebih mudah terserap dan luas permukaan karbon aktif menjadi lebih besar sehingga akan meningkatkan daya serapnya. Pada proses aktivasi kimia, zat aktivator yang biasa digunakan adalah larutan kimia yang bersifat asam ( $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), basa (KOH dan NaOH), dan larutan garam dari logam alkali maupun alkali tanah ( $\text{ZnCl}_2$  dan NaCl) (Dabrowski *et al.*, 2005).

#### D. Tempurung Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tanaman yang dapat menghasilkan minyak kelapa sawit mentah (*crude palm oil*) sehingga termasuk komoditas yang potensial di Indonesia, karena menghasilkan enam ton per tahun dalam satu hektar tanaman tersebut (Sastrosayono, 2003).

Klasifikasi tanaman kelapa sawit adalah sebagai berikut:

Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Keluarga	: Palmaceae
Sub keluarga	: Cocoideae
Genus	: <i>Elaeis</i>
Spesies	: <i>Elaeis guineensis J.</i>

Pada proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO (*crude palm oil*) menghasilkan limbah industri. Salah satu limbah yang dihasilkan adalah limbah padat berupa tempurung kelapa sawit yang jumlahnya mencapai hingga 60% dari produksi minyak inti. Tempurung kelapa sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada tanaman kelapa sawit dan memiliki karakteristik berwarna hitam keabuan, bentuknya tidak beraturan, dan memiliki kekerasan yang cukup tinggi (Purwanto, 2011).



**Gambar 2.** Tempurung kelapa sawit (Rasmawan, 2009).

Tempurung kelapa sawit ternyata termasuk bahan berlignoselulosa yang berkadar karbon tinggi dan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi daripada kayu yang mencapai  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ , dimana semakin besar berat jenis bahan baku maka daya serap karbon aktif yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga karakteristik ini memungkinkan bahan tersebut baik jika digunakan sebagai karbon aktif (Hartoyo dkk., 1990). Tempurung kelapa sawit juga mengandung selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa sebesar 26% yang baik jika digunakan sebagai karbon aktif (Rasmawan, 2009). Bahan organik yang mengandung lignin, hemiselulosa, dan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena efektif untuk mengadsorpsi limbah cair. Selain itu, lignin dan selulosa sebagian besar tersusun dari unsur karbon sehingga dapat dijadikan sebagai karbon (Pope, 1999).

**Tabel 3.** Karakteristik dari tempurung kelapa sawit (Kinoshita, 1988)

No	Parameter	Hasil (%)
1	Kadar air	7,8
2	Kadar abu	2,2
3	Kadar yang menguap	69,5
4	Karbon aktif murni	20,5

## E. Magnetit

Magnetit merupakan salah satu oksida besi yang terdapat di alam. Selain magnetit, oksida besi memiliki bentuk lainnya seperti maghemite dan hematite. Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) atau oksida hitam adalah oksida besi yang paling kuat sifat magnetisnya (Teja and Koh, 2008). Menurut Dung *et al.* (2009),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat dihasilkan dari endapan campuran  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam suasana basa (dengan kehadiran  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), reaksinya adalah sebagai berikut:



Secara umum reaksinya adalah sebagai berikut :



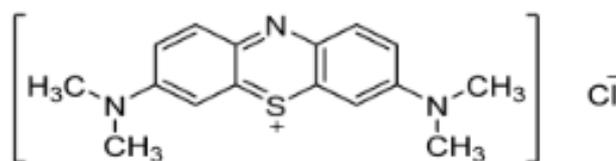
Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang terutama magnetit yang berukuran nano seperti dimanfaatkan pada proses-proses industri (misalnya sebagai tinta cetak dan pigmen pada kosmetik) dan dapat dimanfaatkan pada penanganan masalah-masalah lingkungan (misalnya sebagai *magnetic carrier precipitation process*) yaitu untuk menghilangkan anion atau pun ion logam dari air dan air limbah. Nanopartikel juga dapat dimanfaatkan dalam bidang biomedis baik secara *in vivo* (di dalam tubuh) ataupun secara *in vitro* (di luar tubuh), seperti sebagai agen magnetis pada aplikasi-aplikasi *biomolecule separation*, *drug delivery system*, *hyperthermia therapy*, ataupun sebagai *contrast agent* pada *magnetic resonance imaging* (Cabrera *et al.*, 2008).

## F. Metilen Biru

Limbah zat warna dapat mencemari lingkungan terutama lingkungan perairan, karena limbah zat warna termasuk senyawa organik non-biodegradable.

Sebenarnya, senyawa zat warna di lingkungan perairan ini dapat mengalami dekomposisi secara alami oleh adanya cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat karena intensitas cahaya UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga terakumulasinya zat warna ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada fotodegradasinya (Dae-Hee *et al.*, 1999).

Salah satu limbah zat warna yang dapat mencemari lingkungan adalah zat warna metilen biru. Metilen biru merupakan senyawa hidrokarbon yang beracun dan termasuk zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat. Metilen biru memiliki rumus kimia  $C_{16}H_{18}N_3S^+Cl^-$ . Berikut ini merupakan struktur dari metilen biru:



**Gambar 3.** Struktur metilen biru.

Metilen biru merupakan kristal berwarna hijau gelap dan jika dilarutkan dalam air atau alkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru. Berat molekul dari metilen biru sebesar  $319,86 \text{ g mol}^{-1}$ , dengan titik lebur  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  dan daya larut sebesar  $4,36 \times 10^4 \text{ mg L}^{-1}$  (Palupi, 2006). Konsentrasi larutan pada metilen

biru dapat dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm.

Pada metilen biru terdapat gugus kromofor yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Pada Tabel 4 dapat dilihat beberapa nama gugus kromofor dan struktur kimianya yang memberi daya ikat terhadap serat yang diwarnainya.

**Tabel 4.** Nama dan struktur kimia kromofor

<b>Nama Gugus</b>	<b>Struktur Kimia</b>
Nitroso	NO atau (-N-OH)
Nitro	NO <sub>2</sub> atau (NN-OOH)
Grup Azo	-N=N-
Grup Etilen	-C=C-
Grup Karbonil	-CO-
Grup Karbon-Nitrogen	-C=NH ; CH=N-
Grup Karbon Sulfur	-C=S ; -C-S-S-C-

(Manurung dkk., 2004).

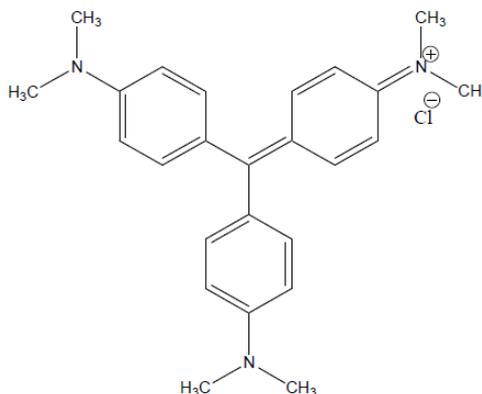
Biasanya, metilen biru digunakan sebagai pewarna sutra, *wool*, tekstil, kertas, peralatan kantor, dan kosmetik. Pada industri tekstil metilen biru hanya digunakan sekitar 5% dalam pewarnaan dan sisanya 95% dibuang ke badan air, sehingga dapat mencemari lingkungan. Metilen biru ini sangat stabil sehingga sulit terdegradasi di alam dan dapat berbahaya bagi lingkungan jika konsentrasinya sudah melebihi ambang batas, karena dapat meningkatkan nilai *chemical oxygen demand* (COD) yang dapat merusak keseimbangan lingkungan (Riyanto dan Julianto, 2009).

## G. Kristal Violet

Kristal violet memiliki rumus kimia  $C_{25}N_3H_{30}Cl$  dan merupakan senyawa golongan trifenilmetana yang biasanya digunakan sebagai pewarnaan histologis dan dalam metode klasifikasi gram. Menurut Ayed dkk. (2009), kristal violet biasa digunakan sebagai pewarna tekstil, percetakan, dan pembuatan kertas.

Zat warna kristal violet termasuk pewarna kationik yang mudah berinteraksi dengan sel-sel bermuatan negatif permukaan membran, masuk ke dalam sel, dapat terakumulasi dalam sitoplasma, bersifat persisten, dan sulit dibiodegradasi (Rajeswari *et al.*, 2017). Menurut studi yang telah dilakukan oleh Azmi *et al.* (1998), pada kristal violet mengandung anilin yang juga bersifat toksik, mutagenik, dan karsinogenik. Anilin ini dapat memicu tumor pada beberapa spesies ikan yang hidup di dasar perairan. Kristal violet memiliki diameter  $110 \text{ \AA}$  dan kromofor pada kationnya sehingga dikelompokkan dalam zat warna basa (Ozacer and Sengil, 2006). Konsentrasi larutan pada kristal violet dapat dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang  $591 \text{ nm}$ .

Berikut ini merupakan struktur dari kristal violet:



**Gambar 4.** Struktur kristal violet (Bertolini *et al.*, 2013).

Senyawa kristal violet terdiri dari 3 cincin yang masing-masing mengikat N dan pada unsur N terikat masing-masing 2 gugus metil. Adapun karakteristik dari kristal violet disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Karakteristik kristal violet (Bertolini *et al.*, 2013)

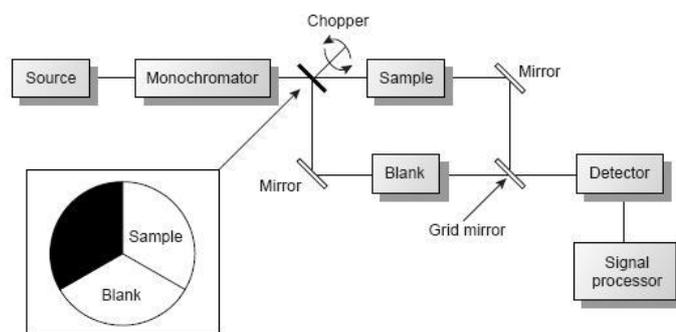
Nama Ilmiah	Kristal Violet
Index warna	Cl 42555
$\lambda_{\max}$ (nm)	590
Molar mass (g mol <sup>-1</sup> )	408
Rumus kimia	C <sub>25</sub> H <sub>30</sub> N <sub>3</sub> Cl

## H. Karakterisasi

### 1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik *ultraviolet* (UV) (190-380 nm) dan sinar tampak *visible* (Vis) (380-780 nm) dengan memakai instrument spektrofotometer (Mulja dan Suharman, 1995). Fungsi dari alat

spektrofotometer UV-Vis adalah untuk mengukur jumlah ikatan rangkap atau konjugasi aromatik dalam suatu molekul. Berikut ini merupakan skema alat dari spektrofotometer UV-Vis:



**Gambar 5.** Skema alat spektrofotometer UV-Vis.

Prinsip kerja dari alat spektrofotometer UV-Vis adalah cahaya polikromatis yang berasal dari lampu deuterium atau wolfram diteruskan melalui lensa menuju monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer sehingga cahaya diubah menjadi cahaya monokromatis. Kemudian berkas cahaya dengan panjang gelombang tertentu akan dilewatkan pada sampel dengan konsentrasi tertentu sehingga akan terdapat cahaya yang diserap (diabsorpsi) dan cahaya yang dilewatkan. Selanjutnya cahaya yang dilewatkan tersebut akan menuju detektor dan kemudian oleh detektor cahaya yang diterima akan dihitung, sehingga cahaya yang terabsorpsi oleh sampel dapat diketahui. Cahaya yang diserap tersebut sama dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel, sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif (Khopkar, 2001). Adapun prinsip dasar dari analisis kuantitatif metode spektrofotometri UV-Vis yaitu besarnya sinar yang diserap

sebanding dengan konsentrasi analit yang dapat dinyatakan dengan persamaan Lambert-Beer (Mulja dan Suharman, 1995).

$$A = \varepsilon b C \quad (5)$$

Dengan A adalah absorbansi,  $\varepsilon$  adalah koefisien ekstingsi molar ( $\text{cm M}^{-1}$ ), b adalah tebal kuvet (cm), dan C adalah konsentrasi larutan (M)

## 2. *X-Ray Diffraction (XRD)*

*X-Ray Diffraction (XRD)* adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi fase kristalin dalam suatu material dan analisis fasa pada senyawa atau paduan di dalam suatu bahan. Analisis ini didasarkan pada pola difraksi dari paduan atau senyawa yang dihasilkan oleh proses difraksi, ukuran panjang gelombang sinar X harus tidak berbeda jauh dengan jarak antar atom di dalam kristal, sehingga pola berulang dari kisi kristal akan berfungsi seolah-olah seperti kisi difraksi untuk panjang gelombang sinar X.

Alat instrumentasi XRD terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. Prinsip kerja dari XRD secara umum adalah tabung sinar-X yang berisi katoda menghasilkan sinar-X untuk memanaskan filamen sehingga menghasilkan elektron. Adanya perbedaan tegangan akan menyebabkan percepatan elektron untuk menembaki objek. Ketika elektron memiliki energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek maka akan dipancarkan sinar-X. Objek dan detektor itu akan berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor akan merekam, memproses sinyal sinar-X, dan mengelolanya dalam bentuk

grafik (Ratnasari, 2009). Hasil yang diperoleh dari difraksi sinar-X adalah berupa puncak-puncak intensitas dan bentuk difraksi serta versus sudut hamburan ( $2\theta$ ).

Sistem kerja dari peralatan difraksi sinar-X didasarkan pada teori yang dikemukakan oleh fisikawan Inggris Bragg yang dikenal sebagai hukum Bragg (Bragg Condition) dan secara matematis dirumuskan dengan:

$$n \cdot \lambda = 2 d_{hkl} \cdot \sin 2\theta \quad (6)$$

Dengan  $n$  adalah orde difraksi,  $\lambda$  adalah panjang gelombang,  $d_{hkl}$  adalah jarak antar atom, dan  $\sin 2\theta$  adalah sudut difraksi. Hukum Bragg dapat dikatakan sebagai representasi non-vektorial dua dimensi sebagai syarat terjadinya difraksi (Bragg *et al.*, 1975).

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

*Scanning electron microscope* (SEM) merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan suatu sampel sedangkan *energy dispersive X-ray* (EDX) atau biasa disebut dengan EDS atau analisis EDAX merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur dari suatu sampel. Jika ingin melakukan karakterisasi material yang heterogen pada permukaan bahan dalam skala mikrometer atau bahkan submikrometer dan untuk menentukan komposisi unsur sampel secara kualitatif maupun kuantitatif, maka dapat dilakukan dengan menggunakan suatu perangkat alat SEM yang dirangkaikan dengan EDX. Karakterisasi menggunakan SEM-EDX dilakukan melalui adsorpsi

isotermis gas oleh padatan sampel. Jumlah molekul gas yang diadsorpsi pada permukaan luar padatan sampel sangat sedikit dibandingkan dengan yang diadsorpsi oleh porinya (Goldstein *et al.*, 1981).

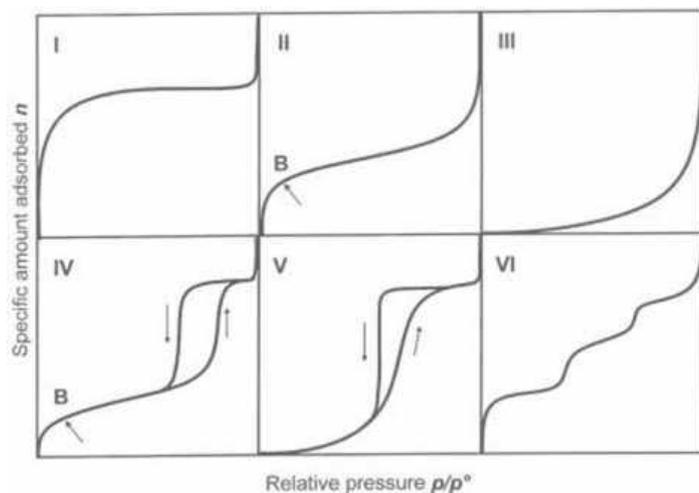
Pada analisis menggunakan SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, dan distribusi pori pada permukaan bahan. Prinsip kerja dari SEM adalah dengan cara mengalirkan arus pada kawat filamen tersebut dengan perlakuan pemanasan sehingga dapat dihasilkan elektron. Elektron yang dihasilkan tersebut akan dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena bekas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, elektron akan kehilangan energi. Hal ini disebabkan karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini akan tersebar keluar dari aliran sinar utama sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dan kemudian energinya menjadi habis lalu melepaskan diri dari target. Selanjutnya, elektron ini dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor yang selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo dan Handayani, 1997).

Prinsip dasar dari karakterisasi EDX adalah bahwa masing-masing unsur memiliki struktur atom yang khas, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya secara spesifik. Pada EDX analisis kualitatif dilakukan dengan cara menentukan energi dari puncak yang ada dalam spektrum dan

membandingkan dengan tabel energi emisi sinar-X dari unsur-unsur yang sudah diketahui. Analisis dengan EDX juga dapat mengetahui konsentrasi unsur tersebut. Analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan beberapa proses antara lain meniadakan *background*, *dekonvolusi peak* yang bertumpang tindih, dan menghitung konsentrasi unsur (Larry, 2001).

#### **4. BET Surface Area**

BET merupakan salah satu metode karakterisasi dengan menggunakan metode adsorpsi gas. Metode analisis dengan menggunakan metode BET dapat memberikan informasi mengenai luas permukaan spesifik, total volume pori, distribusi ukuran pori, dan isoterm adsorpsi. Prinsip kerja dari BET adalah berdasarkan adsorpsi fisis gas N<sub>2</sub>. Pengukuran luas permukaan padatan total dilakukan melalui penentuan banyaknya gas yang diperlukan untuk menutupi seluruh permukaan padatan. Brunauer, Emmet, dan Teller mengasumsikan bahwa laju reaksi pada bagian permukaan sama dengan laju desorpsi dan monolayer. Persamaan BET merupakan pengembangan dari persamaan Langmuir (Prabowo, 2009).



**Gambar 6.** Tipe adsorpsi desorpsi isothermis pada padatan berdasarkan IUPAC.

Menurut IUPAC tipe adsorpsi desorpsi isothermis pada padatan dibagi menjadi 6 tipe (Gambar 6). Pada tipe I menjelaskan tipe adsorpsi satu lapis (monolayer) dan biasa disebut dengan isotherm Langmuir dan menjelaskan adsorpsi oleh adsorben mikropori. Tipe II menjelaskan adsorpsi oleh adsorben makropori dan titik B pada tipe II mengindikasikan tekanan relatif pada saat pelapisan monolayer selesai dan multilayer adsorpsi akan dimulai (Marsh and Fransisco, 2006). Pada tipe III juga menjelaskan adsorpsi oleh adsorben makropori dan diikuti dengan kuat lemahnya interaksi antara adsorben dengan adsorbat (Donohue and Aranovich, 1998), tipe III menunjukkan bahwa tipe kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan relatif bertambah dan tidak adanya titik B disebabkan karena interaksi adsorbat yang lebih kuat dibandingkan adsorben serta jumlah lapisan pada permukaan adsorben tidak terbatas (multilayer). Tipe IV hampir sama dengan tipe II pada rentang tekanan relatif rendah sampai menengah. Tipe V hampir sama dengan tipe III yaitu dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat. Tipe IV dan V dihasilkan dari adsorben yang

berukuran mesopori. Pada tipe VI mengindikasikan permukaan adsorben yang memiliki struktur pori yang seragam (Marsh and Fransisco, 2006).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Februari-Juni 2019 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung (Unila). Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* yang dirangkai dengan *Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung (Unila). Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium FMIPA Institut Teknologi Surabaya (ITS). Analisis menggunakan BET (*surface area*) dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung (ITB). Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung (Unila).

#### B. Alat dan Bahan

Alat alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, neraca analitik, spatula, cawan porselin, *magnetic stirrer*, alat pengaduk, tanur tipe Heraus KR170E0, spektrofotometer UV-Vis, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* yang dirangkai dengan *Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) tipe JEOL-JSM-6510LA, dan BET (*surface area*) tipe NOVA touch 4LX.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa sawit yang diperoleh dari PT. ISAB Provinsi Lampung,  $H_3PO_4$ ,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , metilen biru, kristal violet, HCl, asam asetat, NaOH, etanol, metanol, kertas saring tipe *Whatmann* No. 42, aluminium foil, indikator pH universal, dan akuades.

## C. Prosedur Kerja

### 1. Preparasi dan Pembuatan Karbon

Tempurung kelapa sawit diperoleh dari PT. ISAB Provinsi Lampung, kemudian tempurung kelapa sawit tersebut dibersihkan dan dikeringkan di bawah sinar matahari, selanjutnya dikarbonisasi dengan cara dibakar dalam drum selama kurang lebih 6 jam sehingga diperoleh karbon tempurung kelapa sawit. Karbon tempurung kelapa sawit kemudian dihaluskan menggunakan alat penggiling dan diayak menggunakan *siever* dengan ukuran 100 mikron. Karbon tempurung kelapa sawit yang telah diayak diaktivasi secara fisika dan fisika-kimia, serta dilakukan pelapisan dengan magnetit.

### 2. Aktivasi Karbon

#### a) Aktivasi Fisika

Proses aktivasi fisika dilakukan dengan menggunakan 200 gram karbon tempurung kelapa sawit yang telah diayak dengan ukuran 100 mikron, selanjutnya dibakar dalam tanur pada suhu  $700\text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam dan

dinginkan dalam desikator hingga suhunya stabil (Khuluk, 2016) sehingga diperoleh karbon aktif fisika (CAF).

#### **b) Aktivasi Fisika-Kimia**

Proses aktivasi Fisika-kimia dilakukan dengan menggunakan 50 gram karbon aktif hasil aktivasi fisika kemudian direndam dalam 100 mL larutan  $H_3PO_4$  10% selama 24 jam. Selanjutnya campuran tersebut disaring menggunakan kertas saring *Whatmann* No. 42 dan dicuci dengan akuades sampai pH 6. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 1 jam (Khuluk, 2016) sehingga diperoleh karbon aktif fisika-kimia (CAFK).

### **3. Pembuatan Magnetit**

Proses pembuatan magnetit dilakukan dengan menggunakan 600 mL larutan garam besi yang terdiri dari 7,6 gram  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  dan 3,9 gram  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , kemudian larutan diaduk dan dipanaskan hingga mencapai suhu 70 °C. Selanjutnya ditambahkan tetes demi tetes larutan NaOH 5 M sebanyak 100 mL sehingga terbentuk endapan hitam. Kemudian endapan yang terbentuk dicuci dengan akuades dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 100 °C selama 3 jam (Lee *et al.*, 2004).

### **4. Pembuatan Karbon Aktif-Magnetit**

Proses pembuatan karbon aktif-magnetit menggunakan karbon aktif hasil aktivasi fisika dan karbon aktif hasil aktivasi fisika-kimia dengan perbandingan karbon aktif dan oksida besi adalah 2:1. Karbon aktif fisika

magnetit dibuat dengan cara mencampurkan 6,5 gram karbon aktif hasil aktivasi fisika (CAF) dengan 300 mL akuades, lalu dipanaskan hingga mencapai suhu 70 °C. Kemudian ke dalam campuran tersebut ditambahkan 300 mL larutan garam besi yang terdiri dari 7,6 gram  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan 3,9 gram  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Campuran lalu diaduk selama 30 menit. Selanjutnya ditambahkan tetes demi tetes larutan NaOH 5 M sebanyak 100 mL. Kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 100 °C selama 3 jam (Oliviera *et al.*, 2002) sehingga diperoleh karbon aktif fisika-magnetit (CAF<sub>M</sub>). Kemudian, dilakukan prosedur yang sama untuk membuat karbon aktif fisika-kimia magnetit (CAF<sub>KM</sub>).

## 5. Karakterisasi Karbon Aktif

Karbon aktif yang telah diaktivasi secara fisika (CAF), fisika-kimia (CAF<sub>K</sub>), serta karbon aktif yang dilapisi dengan pelapisan magnetit yaitu CAF<sub>M</sub> dan CAF<sub>KM</sub> dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kekristalan dari material dan adanya magnetit pada karbon aktif, *Scanning Electron Microscope* yang dirangkai dengan *Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur pada karbon aktif, dan BET (*surface area*) untuk mengetahui luas permukaan dari karbon aktif. Karbon aktif yang telah dilakukan proses uji adsorpsi dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* yang dirangkai dengan *Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur pada karbon aktif.

## **6. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat**

### **a) Pembuatan Larutan Metilen Biru 1000 mg L<sup>-1</sup>**

Larutan induk metilen biru 1000 mg L<sup>-1</sup> dibuat dengan melarutkan 1 gram metilen biru di dalam labu takar 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan.

### **b) Menentukan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru**

Panjang gelombang maksimum dari metilen biru dapat ditentukan dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan metilen biru 10 mg L<sup>-1</sup> pada panjang gelombang 500-700 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

### **c) Membuat Kurva Standar Metilen Biru**

Kurva standar dari metilen biru dapat dibuat dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan metilen biru dari konsentrasi 0,1 sampai 0,7 mg L<sup>-1</sup> pada panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Selanjutnya dibuat kurva yang berupa garis lurus yaitu hubungan linieritas antara konsentrasi metilen biru dengan nilai absorbansinya.

### **d) Pembuatan Larutan Induk Kristal Violet 1000 mg L<sup>-1</sup>**

Larutan induk kristal violet 1000 mg L<sup>-1</sup> dibuat dengan melarutkan 1 gram kristal violet di dalam labu takar 1000 mL, kemudian ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan.

**e) Menentukan Panjang Gelombang Maksimum Kristal Violet**

Panjang gelombang maksimum dari kristal violet dapat ditentukan dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan kristal violet  $10 \text{ mg L}^{-1}$  pada panjang gelombang 300-650 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

**f) Membuat Kurva Standar Kristal Violet**

Kurva standar dari kristal violet dapat dibuat dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan kristal violet dari konsentrasi 0,1 sampai  $0,7 \text{ mg L}^{-1}$  pada panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Selanjutnya dibuat kurva yang berupa garis lurus yaitu hubungan linieritas antara konsentrasi kristal violet dengan nilai absorbansinya.

**7. Uji Adsorpsi-Desorpsi Larutan Metilen Biru**

Uji adsorpsi-desorpsi dilakukan dengan menggunakan 0,1 gram adsorben CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM. Selanjutnya ditambahkan 20 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi  $100 \text{ mg L}^{-1}$ . Kemudian larutan diaduk dengan alat pengaduk selama 2 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi dan filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Kemudian endapan yang mengandung larutan metilen biru didesorpsi dengan menggunakan 50 mL akuades dan 50 mL campuran etanol+asam asetat 0,1 M dengan perbandingan volume 1:1 sebagai eluen secara desorpsi sekuensial. Filtrat hasil desorpsi dianalisis kadarnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Proses desorpsi diulangi sebanyak 5 kali. Perlakuan yang sama juga diberikan pada masing-masing

adsorben CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM terhadap larutan metilen biru dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+HCl 0,1 M dengan perbandingan volume 1:1 sebagai eluen.

#### **8. Uji Adsorpsi-Desorpsi Larutan Kristal Violet**

Uji adsorpsi-desorpsi dilakukan dengan menggunakan 0,1 gram adsorben CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM. Selanjutnya ditambahkan 20 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi  $100 \text{ mg L}^{-1}$ . Kemudian larutan diaduk dengan alat pengaduk selama 2 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi dan filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Kemudian endapan yang mengandung larutan kristal violet didesorpsi dengan menggunakan 50 mL akuades dan 50 mL campuran etanol+asam asetat 0,1 M dengan perbandingan volume 1:1 sebagai eluen secara desorpsi sekuensial. Filtrat hasil desorpsi dianalisis kadarnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Proses desorpsi diulangi sebanyak 5 kali. Perlakuan yang sama juga diberikan pada larutan kristal violet dengan menggunakan akuades dan campuran etanol+HCl 0,1 M dengan perbandingan volume 1:1 sebagai eluen.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pembuatan karbon aktif fisika (CAF) dan karbon aktif fisika kimia (CAFK) dari tempurung kelapa sawit telah berhasil dilakukan.
2. Modifikasi karbon aktif dengan teknik pelapisan magnetit untuk adsorben CAFM dan CAFKM telah berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan hasil XRD, SEM-EDX, dan BET *surface area*.
3. Karbon aktif telah terlapisi dengan partikel magnetit ditandai dengan hasil XRD yaitu muncul puncak-puncak pada daerah  $2\theta$  sebesar  $18^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $43^\circ$ ,  $53^\circ$ , dan  $56^\circ$  untuk adsorben CAFM sedangkan pada adsorben CAFKM muncul pada daerah  $2\theta$  sebesar  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $43^\circ$ ,  $53^\circ$ , dan  $56^\circ$ .
4. Hasil uji desorpsi menunjukkan kemampuan campuran etanol+HCl lebih baik jika dibandingkan dengan campuran etanol+asam asetat sebagai eluen.

## **B. Saran**

Pada penelitian lebih lanjut disarankan:

1. Melakukan proses uji adsorpsi pada karbon aktif dengan menggunakan zat warna lain.
2. Pada proses uji desorpsi disarankan menggunakan eluen yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aksu, Z. 2005. Application of Biosorption for The Removal of Organic Pollutants: A Review. *Process Biochemistry*. 40: 997–1026.
- Alberty, R. A. 1997. *Physical Chemistry*. John Willey and Sons Inc. New York.
- Andayani, W. dan Sumartono. 1999. Aplikasi Radiasi Pengion dalam Penguraian Limbah Industri Radiolisis Larutan Standar Zat Warna Reaktif Cibacron Violet 2 R. *Batan (online)*. 32(1).
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika (diterjemahkan oleh: Kartahadiprojo Irma I) Edisi ke-2*. Erlangga. Jakarta.
- Au, W., S. Pathak, C. J. Collie, and T. C. Hsu. 1978. Cytogenic Toxicity of Gentian Violet and Crystal Violet on Mammalian Cells in Vitro. *Mutation Research*. 58(2-3): 269-276.
- Ayed, L., J. Cheriaa, N. Laadhari, A. Cheref, and A. Bakhrouf. 2009. Biodegradation of Crystal Violet by an Isolated Bacillus sp. *Annals of Microbiology*. 59(2): 267-272.
- Azmi, W., R. K. Sani, and U. C. Banerjee. 1998. Biodegradation of Triphenylmethane Dyes. *Enzyme and Microbial Technology*. 22(3): 185-191.
- Bansal, C. R., J. B. Donnet, and F. Stoecli. 1988. *Active Carbon*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Bertolini, T. C. R., J. C. Izidoro, C. P. Magdalena, and D. A. Fungaro. 2013. Adsorption of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution onto Zeolites from Coal Fly and Bottom Ashes. *Orbital: The Electron Journal of Chemistry*. 5(3): 179-191.
- Bragg, L., D.C. Phillips, and H. Lipson. 1975. *The Development of X-Ray Analysis*. Dover Pubns. London.
- Buhani and Suharso. 2009. Immobilization of *Nannochloropsis* sp Biomass by Sol-Gel Technique as Adsorbent of Metal Ion Cu(II) from Aqueous Solutions. *Asian Journal of Chemistry*. 21(5): 3799-3808.

- Buhani and Suharso. 2010. The Influence of pH Towards Multiple Metal Ion Adsorption of Cu(II), Zn(II), Mn(II), and Fe(II) on Humic Acid. *Indonesian Journal of Chemistry*. 6(1): 43-46.
- Buhani dan Suharso. 2010. Modifikasi Silika dengan 3 Aminopropiltrimetoksisilan melalui Proses Sol Gel untuk Adsorpsi Ion Cd(II) dari Larutan. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 16(3): 177-183.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010. Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd(II) Ion on Nannochloropsis sp Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. 259: 140-146.
- Buhani, Suharso, and H. Satria. 2011. Hybridization of Nannochloropsis sp Biomass-Silica Through Sol-Gel Process to Adsorb Cd(II) Ion in Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*. 51(4): 467-476.
- Buhani, Suharso, and L. Aprilia. 2012. Chemical Stability and Adsorption Selectivity on Cd<sup>2+</sup> Ionic Imprinted Nannochloropsis sp Material with Silica Matrix from Tetraethyl Orthosilicate. *Indonesian Journal of Chemistry*. 12(1): 94-99.
- Buhani, Suharso, dan A. F. Partogi. 2013. Isoterm Adsorpsi Ion Ni(II) dalam Larutan oleh Biomassa Alga Nannochloropsis sp yang Dimodifikasi dengan Silika-Magnet. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 1(1): 61-66.
- Buhani, D. Herasari, Suharso, and S.D. Yuwono. 2017. Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on the Amino-Silica Hybrid Adsorbent with Adsorption Rate and Capacity of Cd<sup>2+</sup> Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(1): 418-429.
- Buhani, Musrifatun, D.S. Pratama, Suharso, and Rinawati. 2017. Modification of Chaetocerus sp Biomass with Silica-Magnetite Coating and Adsorption Studies Towards Cu(II) Ions in Single and Binary System. *Asian Journal of Chemistry*. 29(12): 2734-2739.
- Buhani, Suharso, M. Rilyanti, and Sumadi. 2018. Implementation of Sequential Desorption in Determining Cd(II) Ion Interaction with Adsorbent of Ionic Imprinting Amino Silica-Hybrid. *Rasayan Journal of Chemistry*. 11(2): 865-870.
- Buhani, R. Noviadi, dan Suharso. 2018. Pengolahan Sampah Rumah Tangga Berbasis Partisipasi Aktif dari Masyarakat Melalui Penerapan Metode 4Rp Untuk Menghasilkan Kompos. *Jurnal Sakai Sambaian*. 2(1): 7-13.

- Cabrera, L., S. Gutierrez, N. Menendes, M. P. Morales, and P. Herrasti. 2008. Magnetite Nanoparticles: Electrochemical Synthesis and Characterization. *Electrochimica Acta*. 53: 3436-3441.
- Cheremisinoff, P. W. and Ellerbusch, F. 1993. *Carbon Adsorption Applications, Carbon Adsorption Handbook*. Ann Arbor Science Publishers. Inc. Michigan. 7-8.
- Christina P. M., Mu'nisatun S., R. Saptaaji, dan D. Marjanto. 2007. Studi Pendahuluan mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air menggunakan Mesin Berkas Electron 350 keV/10 mA. *Jurnal Forum Nuklir*. 1(1): 31-44.
- Dabrowski, A., P. Podkoscielny, Z. Hubicki, and M. Barczak. 2005. Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon. *Chemosphere*. 58(8): 1049-1070.
- Dae-Hee, A., W-S. Chang, T-I Yoon. 1999. Dyestuff Wastewater Treatment Using Chemical Oxidation, Physical Adsorption and Fixed Bed Biofilm Process. *Process Biochemistry*. 34(5): 429-439.
- Diao, Y., W.P. Walawender, and L.T. Fan. 2002. Activated Carbons Prepared from Phosphoric Acid Activation of Grain Sorghum. *Bioresource Technology*. 81(1): 45-52.
- Diniz, V. and B. Volesky. 2005. Desorption of Lanthanum, Europium and Ytterbium from Sargassum. *Separation and Purification Technology*. 50: 71-76.
- Donohue, M. D. and G. L. Aranovich. 1998. Classification of Gibbs adsorption Isotherms. *Advances in Colloid and Interface Science*. 76-77: 137-152.
- Dung, D. T. K., T. H. Hai, L. H. Phuc, B. D. Long, L. K. Vinh, and P. N. Truc. 2009. Preparation and Characterization of Magnetic Nanoparticles with Chitosan Coating. *Journal of Physics*. 187(1): 1-5.
- Elly, Kurniati. 2008. *Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif*. Teknik Kimia FTI, UPN. Jawa Timur.
- Endah, T., Buhani, and Suharso. 2016. Immobilization Cocodust Biomass with Silica Gel as Adsorbent for Cd(II) and Pb(II) Ions in Solution. *Proceedings of the 2015IconSSE*. ISSN: 978-602-1047-21-7. 56-60.
- Ferreira, B. C. S., F. S. Teodoro, A. B. Mageste, L. F. Gil, P. Freitas, and L. V. A. Gurgel. 2015. Application of a New Carboxylate-Functionalized Sugarcane Bagasse for Adsorptive Removal of Crystal Violet from Aqueous Solution: Kinetic Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Industrial Crops and Products*. 65: 521-534.

- Gholamvaisi, D., S. Azizah, and M. Cheraghi. 2014. Preparation of Magnetic Activated Carbon Nanocomposite and its Application for Dye Removal from Aqueous Solution. *Journal of Dispersion Science and Thecnology*. 35(9): 1264-1269.
- Goldstein, J. I., D. E. Nwberry, P. Echlin, D. C. Joy, C. Fiori, and E. Lifshin. 1981. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Materials Scientists and Biologists. New York.
- Hameed, B. H. 2009. Evaluation of Papaya Seeds as a Novel Non-Conventional Low-Cost Adsorbent for Removal of Methylene Blue. *Journal of Hazardous Materials*. 162(2-3): 939-944.
- Hamdaoui, O. and M. Chiha. 2006. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran. *Acta Chimica Slovenica*. 54: 407-418.
- Handayani, L. W., I. Riwayati, dan R. D. Ratnani. 2015. Adsorpsi Pewarna Metilen Biru Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi. *Jurnal Momentum*. 11(1): 19-23.
- Hartanto, S. dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(1): 12-16.
- Hartoyo, G., Pari, and Nurhayati T. 1990. *Peningkatan Kualitas Arang dan Arang Aktif dari Kayu Mangium yang Diteras*. Prosiding Seminar Nasional III MAPEKI. Fahutan UNWIM. 22-23 Agustus 2000. Jatinangor. 229-230.
- Hassler, J.W. 1974. *Active Carbon*. Chemical Publishing Company Incorporated. Brooklyn. 105: 59-61.
- Husin, H. dan C. M. Rosnelly. 2005. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri (HPI)*. ISSN: 0215-4609. 1-10.
- Kardivelu, K., M. Kavipriya, C. Karthika, M. Radhika, N. Vennilamani, and S. Pattabhi. 2003. Utilization of Various Agricultural Wastes for Activated Carbon Preparation on Application for the Removal of Dyes and Metal Ions from Aqueous Solutions. *Bioresource Technology*. 87(1): 129-132.
- Keenan, C. W. dan W. Kleinfelter. 1984. *Ilmu Kimia untuk Universitas Edisi Keenam (diterjemahkan oleh Aloysius Hadyana Pudjaatmaka)*. Erlangga. Jakarta.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-Press. Jakarta.

- Khuluk, R. H. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Kinoshita, K. 1988. *Carbon Electrochemical and Physicochemical Properties*. Jhon Wiley and Sons. New York.
- Larry, D. H. 2001. *Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy in Handbook of Analytical Methods for Materials*. Materials Evaluation and Engineering, Inc. 13-14.
- Lee, S-J., J-R. Jeong, S-C. Shin, J-C. Kim, dan J-D. Kim. 2004. Synthesis and Characterization of Superparamagnetic Maghemite Nanoparticles Prepared by Coprecipitation Technique. *Journal of Magnetism Magnetic Materials*. 282: 147-150.
- Li, Fangwen, X. Wu, S. MA, Z. XU, W. LIU, and F. LIU. 2009. Adsorption and Desorption Mechanism of Methylen Blue Removal with Iron Oxide Coated Porous Ceramic Filter. *Journal Water Resource and Protection*. 1(1-57): 35-40.
- Liang, Y-D., Y-J. He, T-T. Wang, Li-H. Lei. 2019. Adsorptive Removal of Gentian Violet from Aqueous Solution using CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Activated Carbon Magnetic Composite. *Journal of Water Process Engineering*. 27: 77-88.
- Marsh, H. and R. R. Francisco. 2006. Activated Carbon. *Elsivier Science and Technology Books*. Ukraina.
- Martin, A., J. Swarbrick, and A. Cammarata. 2008. *Farmasi Fisika Dasar-Dasar Farmasi Fisik dalam Ilmu Farmasetik Edisi Ketiga jilid 2*. UI Press. Jakarta.
- Manurung, R., R. Hasibuan, dan H. Irvan. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob*. E-USU Repository Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Meisrilestari, Y., R. Khomaini, dan H. Wijayanti. 2013. Pembuatan Arang Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivasi secara Fisika, Kimia, dan Fisika-Kimia. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik. Universitas Lambung Mangkurat. *Konversi*. 2(1): 46-51.
- Missler, G. L. and D. A. Tarr. 1991. *Inorganic Chemistry*. Prentice Hall. New Jersey.
- Mulja, M. dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Universitas Airlangga. Surabaya.

- Ningrum, L. P., R. A. Lusiana, and R. Nuryanto. 2012. *Dekolorisasi Remazol Brilliant Blue dengan Menggunakan Karbon Aktif*. Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Diponegoro. Semarang.
- Oladipo, A. A. and M. Gazi. 2014. Enhanced Removal of Crystal Violet by Low Cost Alginate/Acid activated Bentonite Composite Beads: Optimization and Modelling Using Non-Linear Regression Technique. *Journal of Water Process Engineering*. 1-10.
- Oliveira, LCA., R. V. R. A. Rios, J. D. Fabris, V. Garg, K. Sapag, and R. M. Lago. 2002. Activated Carbon/Iron Oxide Magnetic Composites for the Absorption of Contaminants in Water. *Carbon*. 40(12): 2177-2183.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Ellis Horwood Limited. England.
- Oxford. 1994. *Kamus Lengkap Kimia*. Erlangga. Jakarta.
- Ozacer, M. and Sengil I. A. 2006. a Two Stage Batch Adsorbent Design for Methylene Blue Removal to Minimize Contact Time. *Environmental Management*. 80(4): 372-379.
- Palupi, E. 2006. Degradasi *Methylene Blue* dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO<sub>2</sub>. (Skripsi). Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pambayun, G. S., R. Y. E. Yulianto, M. Rachimoallah, dan E. M. M. Putri. 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator ZnCl<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(1): 116-120.
- Pope, J.P. 1999. *Activated Carbon and Some Application for Remediation of Soil and Ground Water Pollution*. Civil Engineering Dept. Virginia Tech. USA.
- Prabowo, A. L. 2009. Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung serta Aplikasinya untuk Adsorpsi Cu, Pb, dan Amonia. (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok.
- Purwanto, D. 2011. Arang dari Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq*). Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 29(1): 57-66.
- Rajeswari, K. M., T. Revanth, A. Acharya, and P. Bhat. 2017. Phytochemical and Pharmacological Properties of *Annona Muricata*: A review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 4(2): 3-6.
- Rasmawan. 2009. *Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit untuk Pakan Ternak Sapi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Ratnasari, D. 2009. Makalah *X-Ray Diffraction (XRD)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Razak, D. M. 1994. Penghilangan Fenol Air dari Limbah Industri dengan Adsorpsi Karbon Aktif. *Laporan Penelitian*. Pusat Penelitian Sumber Daya Alam dan Lingkungan Lembaga Penelitian UNPAD. Bandung
- Riyanto dan T. S. Julianto. 2009. Degradasi Senyawa Metilen Biru dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platinum. *Laporan Penelitian*. Program Studi Ilmu Kimia FMIPA UII. Yogyakarta.
- Saeed, A. dan Iqbal M. 2003. Bioremoval of Cadmium from Aqueous Solution by Black Gram Husk (*Cicer arietinum*). *Water Research*. 37: 3472-3480.
- Safii, F. F. dan Mitarlis. 2013. Pemanfaatan Limbah Padat Proses Sintesis Pembuatan Furfural dari Sekam Padi Sebagai Arang Aktif [Utilization of Solid Waste of Furfural Synthesis Process from Rice Husk As Carbon Active]. *UNESA Journal of Chemistry*. 2(2): 8-16.
- Saitoh, T., M. Saitoh, C. Hattori, and M. Hiraide. 2014. Rapid Removal of Cationic Dyes from Water by co Precipitation with Aluminum Hydroxide and Sodium Dodecyl Sulfate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2(1): 752-758.
- Sandi, A. P. dan Astuti. 2014. Pengaruh Waktu Aktivasi Menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Terhadap Struktur dan Ukuran Pori Karbon Berbasis Arang Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*). *Jurnal Fisika Unand*. 3(2): 115-120.
- Sastrosayono, S. 2003. *Budidaya Kelapa Sawit*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Sembiring, M. T. dan T. S. Sinaga. 2003. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). *Laporan Penelitian*. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Senthilkumar, S. T., B. Senthilkumar, S. Balaji, C. Sanjeeviraja, and R. K. Selvan. 2011. Preparation of Activated Carbon from Sorghum Pith and its Structural and Electrochemical Properties. *Material Research Bulletin*. 46: 413-419.
- Suharso, Buhani, and Sumadi. 2010. Immobilization of *S. Duplicatum* Supported Silica Gel Matrix and Its Application on Adsorption-Desorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) Ions. *Desalination*. 263(1-3): 64-69.
- Suharso and Buhani. 2011. Biosorption of Pb(II), Cu(II), and Cd(II) from Aqueous Solution Using Cassava Peel Waste Biomass. *Asian Journal of Chemistry*. 23(3): 1112-1116

- Suhartana. 2006. Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Bahan Baku Arang Aktif dan Aplikasinya untuk Penjernihan Air Sumur di Desa Belor Kecamatan Ngaringan Kabupaten Grobogan. *Jurnal Berkala Fisika*. ISSN:1410-9662. 9(3): 151-156.
- Sukir. 2008. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Sekam Padi. (Tesis). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Sudrajat, R. 1993. *Karakteristik Kayu Sebagai Bahan Energi*. Diskusi Industri Perakayuan, Proceeding, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor.
- Swanson, H. E., H. F. McMurdie, M. C. Morris, and E. H. Evans. 1967. *Standard X-ray Diffraction*. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office. Washington D.C : 31.
- Teja, A. S. and P. Y. Koh. 2008. Synthesis, Properties, and Applications of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 20(1-2): 22-45.
- Triani, L. 2006. Desorpsi Ion Logam Tembaga (II) dari Biomassa Chlorella Sp. yang Terimobilisasi dalam Silika Gel. (*Skripsi*). FMIPA Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Vaiano, V., O. Sacco, D. Sannino, and P. Ciambelli. 2015. Nanostructured Ndoped TiO Coated on Glass Spheres for the Photocatalytic Removal of Organic Dyes under UV or Visible Light Irradiation. *Journal of Applied Catalysis B: Environmental*. 170-171: 153-161.
- Wagiyo dan A. Handayani. 1997. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan Energy Dispersive Spectrometer, EDS*. Badan Tenaga Atom Nasional. Tangerang.
- Wankasi. 2005. *Desorption of Pb<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup> from Nipa Palm (Nipa Fruticans Wurmb) Biomass*. Diakses Tanggal 24 Juli 2019 Pukul 04.15 WIB. (<http://www.google.com/desorption>).
- Weber, C. T., G. C. Collazzo, M. A. Mazutti, E. L. Foletto, and G. L. Dotto. 2014. Removal of Hazardous Pharmaceutical Dyes by Adsorption onto Papaya Seeds. *Water Science and Technology*. 70(1): 102-107.
- Widhianti, W. D. 2010. Pembuatan Arang Aktif dari Biji Kapuk (Ceiba pentandra L.) sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B. (Tesis). Universitas Airlangga. Surabaya.

- Wong, K. T., Yeomin Y., and Min J. 2015. Enhanced Recyclable Magnetized Palm Shell Waste-Based Powdered Activated Carbon for The Removal of Ibuprofen: Insights for kinetics and Mechanisms. *Plos One*. 1-18.
- Wu, J-S., C-H. Liu, K. H. Chu, and S.Y. Suen. 2008. Removal of Cationic Dye Methyl Violet 2B from Water by Cation Exchange Membranes. *Journal of Membrane Science*. 309(1-2): 239–245.