

**MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT
(*Elaeis guineensis Jacq.*) DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT
SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

(Skripsi)

Oleh

Ferita Angriana



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

MODIFICATION OF ACTIVATED CARBON FROM PALM OIL SHELL (*Elaeis guineensis Jacq.*) USING MAGNETITE COATING TECHNIQUE AS A METHYLENE BLUE ADSORBENT

By

Ferita Angriana

In this study, activated carbon from palm oil shell has been synthesized and characterized by physical activation (CAF) and chemical activation (CAK) and then continued with magnetite coating on CAF and CAK so that magnetite physical activated carbon (CAF_M) and magnetite chemical activated carbon (CAK_M) were produced which aims to know the characterization and the adsorption capability of methylene blue. The physical activation process is done at temperature of 700 °C and chemical activation is done by using H₃PO₄ activator, also by addition FeSO₄.7H₂O compound on magnetite coating process. The characterization of activated carbon has been characterized using XRD to identify the crystallinity, SEM-EDX to determine the surface morphology and to identify element, also BET surface area to determine adsorption-desorption isotherm pattern and to determine the adsorbent surface area. The adsorption test of activated carbon in adsorbing 10 mg L⁻¹ methylene blue with an adsorbent dose of 0,05 g was optimum in the volume range 20-30 mL. The result of the optimum pH on adsorbent was obtained at pH 8 and the optimum contact time was obtained at 120 minutes. The adsorption kinetics data of methylene blue on CAF, CAK, CAF_M, and CAK_M tend to follow the model of pseudo second order with k₂ values respectively 191,104; 361,637; 325,150; and 106,510 g mmol⁻¹ min⁻¹. The adsorption isotherm of methylene blue on CAF, CAK, CAF_M, and CAK_M tend to follow the model of Freundlich isotherms with correlation coefficient was 0,995.

Keywords: Adsorption, activated carbon, palm oil shell, magnetite coating, methylene blue.

ABSTRAK

MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq.*) DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU

Oleh

Ferita Angriana

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis dan karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit secara aktivasi fisika (CAF) dan aktivasi kimia (CAK) serta dilanjutkan dengan pelapisan magnetit pada CAF dan CAK sehingga didapatkan masing-masing karbon aktif fisika magnet (CAF_M) dan karbon aktif kimia magnet (CAK_M) yang bertujuan untuk mengetahui karakterisasi dan kemampuan adsorpsinya terhadap zat warna metilen biru. Proses aktivasi fisika dilakukan pada suhu 700 °C dan aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan aktivator H₃PO₄, serta penambahan senyawa FeSO₄.7H₂O dalam proses pelapisan magnetit. Karakterisasi pada karbon aktif dilakukan dengan menggunakan XRD untuk mengidentifikasi kristalinitas, SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur, serta BET *surface area* untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi-desorpsi dan mengetahui luas permukaan adsorben. Uji adsorpsi karbon aktif terhadap metilen biru bertujuan untuk mengetahui volume dan pH optimum, serta model kinetika dan pola isoterm adsorpsinya. Adsorpsi metilen biru 10 mg L⁻¹ dengan dosis adsorben sebanyak 0,05 g optimum pada rentang volume 20-30 mL. Hasil pH optimum pada adsorben diperoleh pada pH 8 dan waktu kontak optimum diperoleh selama 120 menit. Data kinetika adsorpsi metilen biru pada CAF, CAK, CAF_M, dan CAK_M cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai k₂ masing-masing 191,104; 361,637; 325,150; dan 106,510 g mmol⁻¹ menit⁻¹. Isoterm adsorpsi metilen biru pada CAF, CAK, CAF_M, dan CAK_M cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,995.

Kata kunci: Adsorpsi, karbon aktif, tempurung kelapa sawit, pelapisan magnetit, metilen biru.

**MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT
(*Elaeis guineensis Jacq.*) DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT
SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

Oleh

FERITA ANGRIANA

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
2018**

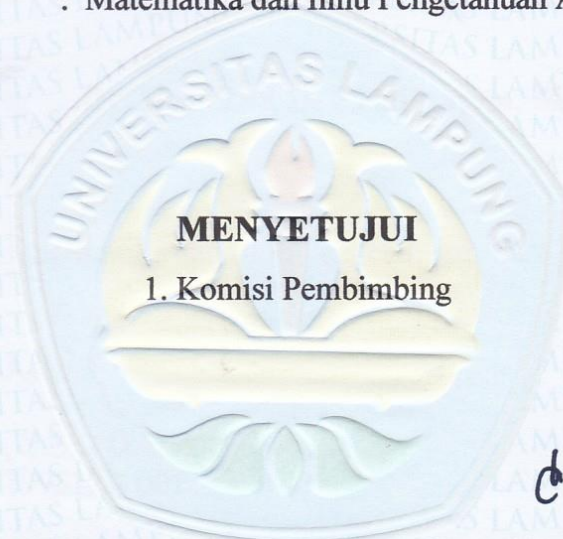
Judul Skripsi : **MODIFIKASI KARBON AKTIF DARI
TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis
Jacq.*) DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT
SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN
BIRU**


Nama Mahasiswa : **Ferita Angriana**

No. Pokok Mahasiswa : 1417011039

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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


Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP 19720530 200003 2 001


2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


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

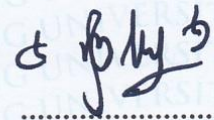
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

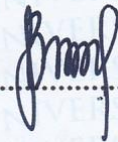


Sekretaris : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**

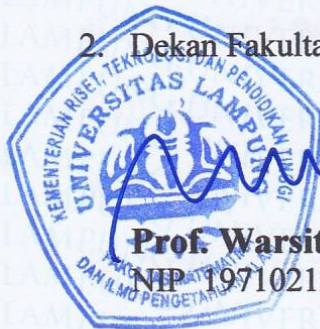


Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.

NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **27 Agustus 2018**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 28 Februari 1996, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Edriansyah Pagaralam, S.H dan Ibu Dra. RA Fatimah. Jenjang pendidikan diawali dari Taman Kanak-Kanak di TK Pratama Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2002. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sekolah dasar di SD Negeri 2 Rawa Laut, Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2008. Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 5 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2011. Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2014. Pada tahun 2014, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar pada tahun 2016 dan 2017 serta menjadi asisten praktikum Kimia Anorganik I dan Kimia Anorganik II pada tahun 2017 dan 2018. Selain itu, penulis juga aktif sebagai anggota bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) di Organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung periode 2015/2016 dan 2017.

Pada bulan Juni 2017 Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang diberi judul **Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) Dengan Impregnasi Magnet Untuk Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru.**

Pada tahun yang sama penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tanggal 24 Juli – 31 Agustus 2017 di Desa Hatta, Kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan.

MOTTO

*One day, all of your hard work will pay off .
(Ferita Angriana)*

*Barang siapa yang bersabar atas kesulitan dan himpitan
kehidupannya, maka aku akan menjadi saksi atau pemberi
syafaat baginya pada hari kiamat.
(HR Tirmidzi)*

*Janganlah kamu bersikap lemah, dan janganlah (pula) kamu
berseधि hati, padahal kamulah orang-orang yang paling
tinggi (derajatnya), jika kamu orang-orang yang beriman.
(Q.S Ali Imran : 139)*

*Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman
diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan
beberapa derajat.
(Q.S Al-Mujadilah : 11)*

Bismillahirrohmanirrohim

Atas Rahmat Allah SWT

Kupersembahkan karya sederhanaku ini sebagai tanda kasih dan sayang serta baktiku kepada :

Kedua orang tuaku,
Edriansyah Pagaralam, S.H. dan Dra. RA Fatimah,
yang selalu merawat, mendidik, dan mengajarkanku tentang kebaikan, serta tak henti-hentinya mendo'akan, mendukung dan senantiasa berkorban untukku.

Adik-adikku tersayang,
M. Ryan Rama dan Rana Salsabila.

Para Ibu dan Bapak dosen yang selalu membagikan banyak ilmu dan pelajaran kepadaku.

Seseorang terdekatku Aditia Wahyudi, A.Md., yang selalu memberikan semangat dan motivasi untukku.

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

Almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini yang diberi judul “**Modifikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan Teknik Pelapisan Magnetit Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru**” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat rahmat dan ridha Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari orang-orang terdekat penulis. Penulis menyadari masih banyak kekurangannya sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran. Selain itu, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembacanya. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing I dan pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, semangat, saran, dan motivasi serta kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

2. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, ilmu, motivasi, kritik dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si., selaku pembahas yang telah memberikan ilmu, motivasi, nasihat, kritik dan saran sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M. T, selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung.
5. Bapak Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik serta memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada penulis selama kuliah dan semoga ilmu yang diberikan dapat berguna dan barokah.
7. Mba Liza Aprilia S., S.Si., selaku Laboran Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila yang telah banyak membantu dalam menyediakan alat serta bahan untuk penelitian penulis.
8. Seluruh laboran, staff dan karyawan FMIPA Universitas Lampung atas seluruh bantuannya selama ini.
9. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Edriansyah Pagaralam, S.H. dan Ibu Dra. RA Fatimah yang selama ini tak henti-hentinya memberikan do'a dan dukungan kepadaku, yang selalu menyayangi, menasihati, menyemangati, dan memberikan pengorbanan yang besar sehingga penulis dapat menyelesaikan

skripsi ini dengan lancar dan menjadi Sarjana Sains. Semoga papa dan mama selalu diberikan keberkahan oleh Allah SWT, amiin.

10. Kedua adikku M. Ryan Rama dan Rana Salsabila yang selalu memberikan do'a, semangat, dan dukungan kepada penulis, semoga Allah SWT juga memberikan kemudahan dalam studi dan kehidupan kalian.
11. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan motivasi, saran, serta do'a kepada penulis.
12. Sahabat terdekatku Aditia Wahyudi, A.Md., yang selalu mendukung, menyemangati, dan memotivasiku dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
13. Sahabat-sahabat terbaikku semasa kuliah, Ana Devita Mutiara, Aniza Vidya Widata, Ayuning Fara Mudhita S., Cindy Claudia Putri, Devi Tri Lestari, Erien Ratna Putri, Fergina Prawaning Tyas, Fitri Oktavianica, Hestianingsih Famela, Ismi Aditiya, dan Rica Aulia yang selalu memberikan motivasi, semangat, dukungan, bantuan, nasihat, serta keceriaan kepada penulis sejak tahun 2014. Semoga aibku tetap menjadi aibmu.
14. Kedua sahabat terbaikku sejak SMP hingga sekarang Tri Nurhayati dan Tika Pratiwi yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, dukungan, serta keceriaan kepada penulis. Semoga persahabatan kita selamanya.
15. Anggota ekskul terkreatif (BURSA), Witta Putri A., Regina Rissa N., Melista Aulia N., Dafina Tri Masfia, Prisma Fadli, Tanti Senja Pradita, Septia Anggraini, dan Zelda Triyani yang selalu memberikan dukungan, keceriaan, dan kekonyolan kepada penulis sejak 2012 sampai sekarang.
16. Sahabat-sahabatku semasa SMA sampai sekarang, Indah Isnialita P., Putri Komala H., dan Yeni Dwi Putri yang sudah memberikan motivasi kepada

penulis untuk menyelesaikan perkuliahan. Semoga nama grub kita cepat terealisasikan, amiin.

17. Teman-teman KKN Unila 2017 di Desa Hatta, Bakauheni, Lampung Selatan, Wili Kusuma, Vina Purnama S., Redi, dan Ernada M., terima kasih atas kerjasamanya selama ini.
18. Teruntuk tim *research* terhebat, Fitria Luziana, Asdini Virginia, Ismi Aditiya, dan Ana Devita Mutiara, terimakasih atas bantuan, masukan, dan kerjasama yang baik selama ini.
19. Teruntuk seluruh anggota *Adsorption Group*, kakak-kakak terbaik : Meghafit Puspitarini S. Si., Murnita Anggraini, S. Si., Melita Sari, Fentri Haryanti, S. Si., dan Radho Alkausar, S. Si., serta Annisa Siti Zulaicha, S. Pd. terimakasih atas nasihat, bantuan dan masukannya selama ini dan juga ibu Rahmawaty, M.Si., yang telah membantu penulis untuk mendapatkan tempurung kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini. Adik-adik 2015 tercinta : Ade Rika, Tri Handayani, Miranda, Desy Permatasari, Yanti dan Siti Nur Aini yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
20. Teman-teman seperjuangan Anorganik Squad 2014 : Fitria Luziana, Ana Devita M., Ismi Aditiya, Asdini Virginia, Lucia Arum H., Devi Tri L., Rica Royjanah, Ainun Nadya, Cindy Claudia P., Aniza Vidya W., Hot asi, Novi Indarwati, Audina Uci P., Reni Anggraini, Yusuf Hadi K., Fikri Muhammad, Widia Sari, Deni Diora, Khumil Ajmila, Putri Sendi K., Bayu Andani, Hafid Darmais H., dan Dira Fauzi R., terimakasih atas dukungan , motivasi dan kebersamaan selama ini.

21. Keluarga seperjuanganku di Kimia angkatan 2014, terimakasih atas segala suka dan duka yang telah dilalui selama 4 tahun ini. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga dan jangan lupakan jargon “Kimia 2014 !!!“ , “Kami Bersatu,Satu yang Solid !!!”
22. Teruntuk adik-adik Kimia angkatan 2015, 2016, dan 2017 yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
23. Almamater tercinta Universitas Lampung.
24. Semua pihak yang tidak dapat penulis disebutkan satu persatu yang secara tulus dan ikhlas memberikan dukungan, do’a dan bantuannya kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.

Akhir kata, penulis memohon maaf apabila skripsi ini masih kurang dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, Agustus 2018
Penulis

Ferita Angriana

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang dan Masalah.....	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Karbon Aktif	6
1. Struktur Karbon Aktif	7
2. Proses Pembuatan Karbon Aktif	9
B. Tempurung Kelapa Sawit	12
C. Magnetit	14
D. Metilen Biru	16
E. Adsorpsi	17
1. Adsorpsi Fisika (<i>Physisorption</i>)	18
2. Adsorpsi Kimia (<i>Chemisorption</i>).....	18
F. Karakterisasi	25
1. Spektrofotometer UV-Vis.....	25
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	27
3. <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray</i>	28
4. <i>Brunauer-Emmet-Teller</i> (BET).....	29

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat	32
B. Alat dan Bahan.....	32
C. Prosedur Penelitian	33
1. Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif.....	33
2. Proses Aktivasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit.....	33
3. Karakterisasi Karbon Aktif.....	34
4. Uji Adsorpsi.....	35

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit.....	39
B. Karakterisasi Karbon Aktif dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	41
C. Karakterisasi Karbon Aktif dengan <i>Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	43
D. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Brunauer-Emmet-Teller (BET) <i>surface area</i>	46
E. Uji Adsorpsi.....	48
1. Penentuan Volume Optimum.....	49
2. Penentuan pH Optimum	50
3. Penentuan Waktu Kontak Optimum dan Kinetika Adsorpsi.....	52
4. Penentuan Konsentrasi Optimum dan Isoterm Adsorpsi.....	56
5. Uji Adsorpsi Simultan	60
6. Uji Adsorpsi Sekuensial	61

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	63
B. Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) No.06-3730-1995	7
2. Sifat fisik dan magnetik senyawa oksida besi.....	15
3. Hasil karakterisasi dengan metode BET <i>surface area</i>	48
4. Parameter kinetika adsorpsi metilen biru terhadap CAF, CAK, CAFM, dan CAKM.....	55
5. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich metilen biru terhadap CAF, CAK, CAFM, dan CAKM	59
6. Data absorbansi metilen biru variasi volume	74
7. Adsorpsi metilen biru pada adsorben dengan variasi volume	75
8. Data absorbansi metilen biru variasi pH	76
9. Adsorpsi metilen biru pada adsorben dengan variasi pH.....	77
10. Data absorbansi metilen biru variasi waktu kontak	79
11. Adsorpsi metilen biru pada adsorben dengan variasi waktu kontak.....	79
12. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada CAF terhadap metilen biru	81
13. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada CAK terhadap metilen biru	82
14. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada CAFM terhadap metilen biru	83

15. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada CAKM terhadap metilen biru	84
16. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada CAF terhadap metilen biru	85
17. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada CAK terhadap metilen biru	86
18. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada CAFM terhadap metilen biru	87
19. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada CAKM terhadap metilen biru	88
20. Data absorbansi metilen biru variasi konsentrasi	89
21. Adsorpsi metilen biru pada adsorben dengan variasi konsentrasi	90
22. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi metilen biru terhadap CAF	91
23. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi metilen biru terhadap CAK	93
24. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi metilen biru terhadap CAFM	94
25. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi metilen biru terhadap CAKM	95
26. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi metilen biru terhadap CAF	96
27. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi metilen biru terhadap CAK	97
28. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi metilen biru terhadap CAFM	98
29. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi metilen biru terhadap CAKM	99
30. Data absorbansi metilen biru untuk adsorpsi simultan dan sekuensial	100
31. Data absorbansi kristal violet untuk adsorpsi simultan dan sekuensial	101

32. Hasil adsorpsi simultan terhadap adsorben101
33. Hasil adsorpsi sekuensial terhadap adsorben102

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Perbedaan struktur grafit dan karbon aktif	8
2. Pohon kelapa sawit	13
3. Struktur kristal magnetit	16
4. Struktur kimia molekul metilen biru	16
5. Model isoterm adsorpsi Langmuir	23
6. Model isoterm adsorpsi Freundlich.....	24
7. Skema alat spektrofotometer UV-Vis	26
8. Tipe adsorpsi desorpsi isotermis pada padatan berdasarkan IUPAC.....	30
9. Hasil preparasi sampel (a) tempurung kelapa sawit, (b) karbon tempurung kelapa sawit, (c) karbon tempurung kelapa sawit halus	39
10. Hasil karakterisasi XRD dari (a) CAF, (b) CAK, (c) Magnetit, (d) CAFM, dan (e) CAKM	42
11. Hasil SEM dengan perbesaran 5000x pada permukaan adsorben (a) CAF, (b) CAK, (c) CAFM, (d) CAKM	44
12. Hasil karakterisasi EDX (a) CAF, (b) CAK, (c) CAFM, (d) CAKM.....	45
13. Isoterm adsorpsi-desorpsi pada (a) CAF, (b) CAK, (c) CAFM, (d) CAKM ..	47
14. Kurva volume optimum pada proses adsorpsi metilen biru.....	49
15. Kurva pH optimum pada proses adsorpsi metilen biru.....	51
16. Kurva waktu kontak optimum pada proses adsorpsi metilen biru	53

17. Kinetika orde satu pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap metilen biru	54
18. Kinetika orde dua pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap metilen biru	55
19. Kurva konsentrasi optimum pada proses adsorpsi metilen biru	57
20. Pola isoterm Langmuir pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap metilen biru	58
21. Pola isoterm Freundlich pada CAF, CAK, CAFM, dan CAKM terhadap metilen biru	58
22. Kurva uji adsorpsi simultan MB dan CV yang terserap terhadap adsorben CAF, CAK, CAFM, dan CAKM	60
23. Kurva uji adsorpsi sekuensial (a) CV-MB (b) MB-CV terhadap CAF, CAK, CAFM, dan CAKM	62
24. Panjang gelombang maksimum metilen biru.....	74
25. Kurva standar metilen biru variasi volume	74
26. Adsorpsi metilen biru terhadap CAF dengan variasi volume.....	75
27. Adsorpsi metilen biru terhadap CAK dengan variasi volume	76
28. Adsorpsi metilen biru terhadap CAFM dengan variasi volume	76
29. Adsorpsi metilen biru terhadap CAKM dengan variasi volume.....	76
30. Kurva standar metilen biru variasi pH.....	77
31. Adsorpsi metilen biru terhadap CAF dengan variasi pH.....	78
32. Adsorpsi metilen biru terhadap CAK dengan variasi pH	78
33. Adsorpsi metilen biru terhadap CAFM dengan variasi pH	78
34. Adsorpsi metilen biru terhadap CAKM dengan variasi pH.....	78
35. Kurva standar metilen biru variasi waktu kontak	79
36. Adsorpsi metilen biru terhadap CAF dengan variasi waktu	80
37. Adsorpsi metilen biru terhadap CAK dengan variasi waktu	80

38. Adsorpsi metilen biru terhadap CAFM dengan variasi waktu.....	80
39. Adsorpsi metilen biru terhadap CAKM dengan variasi waktu	80
40. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAF terhadap metilen biru	81
41. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAK terhadap metilen biru	82
42. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAFM terhadap metilen biru.....	83
43. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAKM terhadap metilen biru	84
44. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAF terhadap metilen biru	85
45. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAK terhadap metilen biru	86
46. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAFM terhadap metilen biru	87
47. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAKM terhadap metilen biru.....	88
48. Kurva standar metilen biru variasi konsentrasi	89
49. Adsorpsi metilen biru terhadap CAF dengan variasi konsentrasi.....	90
50. Adsorpsi metilen biru terhadap CAK dengan variasi konsentrasi	90
51. Adsorpsi metilen biru terhadap CAFM dengan variasi konsentrasi	91
52. Adsorpsi metilen biru terhadap CAKM dengan variasi konsentrasi	91
53. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada CAF terhadap metilen biru	92
54. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada CAK terhadap metilen biru	93
55. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada CAFM terhadap metilen biru	94
56. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada CAKM terhadap metilen biru.....	95
57. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada CAF terhadap metilen biru	96
58. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada CAK terhadap metilen biru.....	97
59. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada CAFM terhadap metilen biru.....	98
60. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada CAKM terhadap metilen biru	99
61. Kurva standar metilen biru untuk adsorpsi simultan dan sekuensial	100

62. Kurva standar kristal violet untuk adsorpsi simultan dan sekuensial	101
---	-----

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang dan Masalah

Di era modernisasi saat ini tidak bisa dipungkiri bahwa industri sangat berkembang pesat di Indonesia. Meskipun perkembangan tersebut memberikan dampak positif namun disisi lain juga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Industri mempunyai pengaruh besar terhadap lingkungan karena dapat menghasilkan limbah produksi baik limbah cair (*liquid wastes*), padat (*solid wastes*), maupun gas (*gaseous wastes*) yang dapat mencemari lingkungan. Hal tersebut menyebabkan beban pencemaran lingkungan akan semakin besar sedangkan kemampuan alam untuk menerima limbah-limbah tersebut terbatas (Setyaningsih, 1995).

Salah satu industri yang menghasilkan banyak limbah yang mencemari perairan adalah industri tekstil. Limbah dari industri tekstil memiliki warna mencolok yang berasal dari pewarna sintetik. Sekitar 10-15 % dari zat warna yang sudah digunakan tidak dapat dipakai ulang dan harus dibuang sebagai limbah (Selvam dkk., 2003). Penggunaan pewarna sintetik secara besar sering memberikan masalah karena pekatnya warna dari limbah yang dihasilkan. Badan perairan menjadi tidak indah, terbatasnya kapasitas re-oksigenasi, dan terjadi

penghambatan sinar matahari yang akan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis dalam ekosistem perairan serta timbulnya toksisitas yang akut dan kronik merupakan salah satu masalah yang serius (Muthmainah, 2013). Zat warna biasanya memiliki struktur molekul kompleks aromatik yang membuatnya lebih stabil sehingga sulit untuk diurai secara hayati (Christina dkk., 2007). Salah satu kandungan dalam limbah cair tekstil adalah zat warna metilen biru yang bersifat *non biodegradable* terhadap lingkungan. Metilen biru dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup yaitu Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair, konsentrasi maksimum metilen biru yang diperbolehkan yaitu 5-10 mg/L (Handayani dkk., 2015). Jika melebihi konsentrasi maksimum tersebut maka dapat dikatakan bahwa lingkungan tersebut tercemar oleh metilen biru. Oleh karena itu perlu dicari alternatif yang efektif untuk mengatasinya.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk meminimalisir dan mengatasi pencemaran dari zat warna metilen biru, diantaranya adalah adsorpsi, koagulasi dan flokulasi, proses oksidasi, ozonisasi, membran filtrasi, dan metode biologis (Fatimah *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2012; Peng *et al.*, 2013; Cottet *et al.*, 2014). Metode adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam penyerapan ion logam dan kandungan warna dari larutan (Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2018). Metode adsorpsi diketahui memiliki beberapa keunggulan yaitu efisiensinya yang tinggi, mudah dan lebih sederhana untuk dilakukan, biayanya relatif murah, dan tidak adanya efek samping zat beracun (Buhani *et al.*, 2011) dibandingkan dengan proses fisika dan kimia yang lainnya. Proses adsorpsi

dari suatu larutan dapat diprediksi secara kualitatif dari polaritas adsorben dan komponen larutan. Adsorben polar cenderung menyerap adsorbat polar dibanding adsorbat non polar dan begitupun sebaliknya (Buhani *et al.*, 2018).

Diantara beberapa adsorben yang digunakan dalam metode adsorpsi, karbon aktif adalah adsorben yang telah digunakan secara efektif untuk menghilangkan polutan organik. Karbon aktif memiliki beberapa keunggulan yaitu termasuk bahan yang berpori dan memiliki permukaan yang luas, memiliki kemampuan adsorpsi yang besar, struktur mikropori yang tinggi, mudah diaplikasikan, dan biaya yang diperlukan relatif murah (Bansal and Goyal, 2005).

Beberapa bahan baku yang murah ternyata telah diketahui mempunyai komposisi karbon yang cukup tinggi dan persentasi bahan anorganik yang rendah sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan karbon aktif, salah satu contohnya adalah tempurung kelapa sawit (Lim *et al.*, 2015). Tempurung kelapa sawit dipilih karena merupakan bahan baku yang murah dan mudah didapat serta sebagai upaya untuk mengurangi limbah. Jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa, tempurung kelapa sawit memiliki banyak kemiripan dan perbedaan. Perbedaan yang paling mencolok adalah pada kadar abu yang biasanya akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan (Harahap dkk., 2014). Tempurung kelapa sawit mengandung hemiselulosa sebesar 24 %, selulosa sebesar 40 %, dan lignin 21 % yang baik untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif (Haji, 2013). Sebelum menjadi karbon aktif, tempurung kelapa sawit diproses melalui 3 tahap yaitu proses dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi. Proses dehidrasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam tempurung kelapa sawit. Selanjutnya yaitu proses karbonisasi yang bertujuan untuk menguraikan selulosa

organik menjadi unsur karbon serta menghilangkan senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam bentuk unsur-unsur non karbon. Proses yang terakhir yaitu proses aktivasi, pada penelitian sebelumnya telah dilakukan aktivasi fisika pada suhu optimum 700 °C sedangkan untuk aktivasi secara kimia dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 (Khuluk, 2016).

Selain keunggulan karbon aktif yang telah disebutkan, ternyata penggunaan adsorben seperti karbon aktif berpotensi untuk menghasilkan limbah sekunder karena akan sulit melakukan pemisahan dan penggunaan kembali adsorben setelah dilakukan adsorpsi. Oleh karena itu dapat digunakan adsorben yang dimodifikasi dengan magnetik untuk mengatasi masalah tersebut karena adsorben yang dimodifikasi dengan bahan magnetik dapat dipisahkan dari sistem larutannya dengan menggunakan magnet eksternal. Sebagian besar adsorben magnetik menggunakan inti magnetik dari besi oksida, seperti magnetit (Fe_3O_4) karena telah diketahui bahwa fase magnetit memiliki sifat magnet yang baik (Fan *et al.*, 2012).

Penggabungan karbon aktif dengan magnet adalah metode yang menjanjikan untuk menghilangkan zat warna yang bersifat kationik seperti metilen biru. Kation pada metilen biru akan secara elektrostatik tertarik pada magnet yang ada di pori-pori bagian dalam karbon aktif sehingga menyebabkan daya adsorpsi yang cukup tinggi (Wong *et al.*, 2016). Secara teori, karbon magnetit dapat memiliki kapasitas adsorpsi lebih rendah dibanding dengan karbon aktif biasa karena terjadi pemblokiran pori-pori yang signifikan oleh impregnasi nano magnetit. Untuk

meminimalisir pemblokiran pori tersebut, akan dilakukan dengan cara melapisi magnet terutama di permukaan karbon aktif (Wong *et al.*, 2015).

Berdasarkan uraian di atas, maka proses modifikasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan magnetit penting dilakukan. Selain untuk meningkatkan nilai ekonomis dari cangkang kelapa sawit dapat juga digunakan sebagai sarana untuk pengurangan kadar zat warna metilen biru dalam limbah tekstil.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari cara modifikasi dan karakterisasi karbon aktif magnetit dari tempurung kelapa sawit.
2. Mempelajari pengaruh volume, pH, waktu kontak, dan variasi konsentrasi metilen biru pada adsorben karbon aktif magnetit.
3. Menentukan model kinetika dan isoterm adsorpsi metilen biru terhadap karbon aktif magnetit.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi tentang proses adsorpsi karbon magnetit dari tempurung kelapa sawit yang diaktivasi secara fisika dan fisika-kimia, sehingga dapat digunakan untuk mengurangi masalah pada pencemaran zat warna terutama metilen biru.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung karbon. Karbon aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan gas CO₂, uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya adsorpsinya menjadi lebih tinggi. Karbon aktif mengandung 5-15 % air, 2-3 % abu, dan sisanya terdiri dari karbon. Karbon aktif terdiri dari pelat-pelat datar, disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya. Pelat-pelat tersebut bertumpuk-tumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon dan senyawa organik lain yang tertinggal pada permukaannya (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan khusus untuk mendapat permukaan yang lebih luas. Luas permukaan arang aktif berkisar antara 3000-3500 m²/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Arang

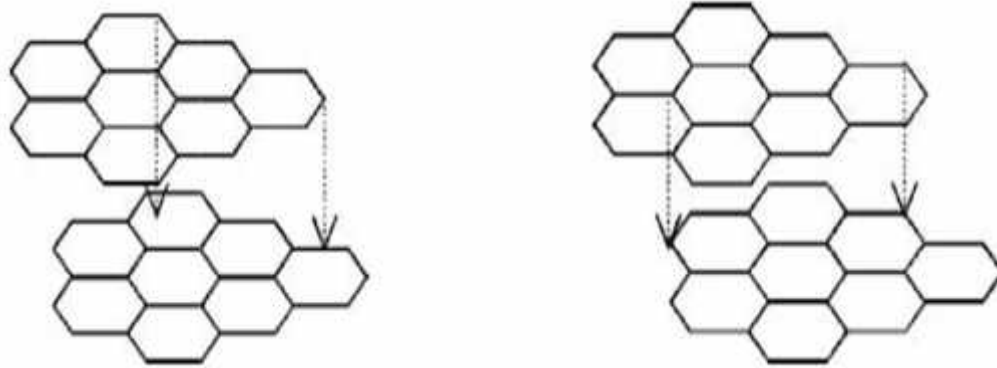
aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar yaitu 25-100 % terhadap berat arang aktif (Razak, 1994). Persyaratan karbon aktif menurut SNI dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan karbon aktif menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) No.06-3730-1995

No.	Uraian	Persyaratan	
		Butiran	Serbuk
1	Kadar zat terbang (%)	Maks 15	Maks 25
2	Kadar air (%)	Maks 4,5	Maks 15
3	Kadar abu (%)	Maks 2,5	Maks 10
4	Bagian tak mengarang	0	0
5	Daya serap terhadap I ₂ (mg/g)	Min 750	Min 750
6	Karbon aktif murni (%)	Min 80	Min 60
7	Daya serap terhadap benzene (%)	Min 25	-
8	Daya serap terhadap metilen biru (mg/g)	Min 60	Min 120
9	Bobot jenis curah (g/ml)	0,45-0,55	0,3-0,35
10	Lolos mesh	-	Min 90
11	Jarak mesh (%)	90	-
12	Kekerasan	80	-

1. Struktur Karbon Aktif

Dalam proses pembuatan karbon aktif, arang atau karbon merupakan produk setengah jadi, sedangkan karbon aktif merupakan karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga memiliki daya serap yang tinggi terhadap bahan lain yang umumnya berbentuk larutan atau uap. Perbedaan struktur karbon aktif dengan karbon biasa terletak pada persilangan rantai karbon dan ketebalan lapisannya (*microcrystalin*) seperti terlihat pada Gambar 1.



Struktur Grafit

Struktur Karbon Aktif

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

Karbon aktif mempunyai bentuk amorf dimana atom-atom C-nya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Hal ini dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit. Daerah kristalin mempunyai ketebalan 0,7-1,1 nm dan diameter 2,0-2,5 nm, jauh lebih kecil yang terdapat pada grafit. Hal ini menunjukkan bahwa hanya terdapat 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20-30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristalin-kristalin karbon diisi oleh karbon-karbon amorf yang berikatan secara tiga dimensi dengan atom-atom lainnya terutama oksigen. Susunan karbon yang tidak teratur tersebut diselingi oleh retakan-retakan dan celah yang disebut pori dan kebanyakan berbentuk silindris (Juliandini dan Trihadiningrum, 2008).

2. Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pada dasarnya terdapat 4 proses pembuatan karbon aktif yaitu:

a. Pemilihan Bahan Dasar

Karbon aktif bisa 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. Bila bahan-bahan tersebut dibandingkan, tempurung kelapa merupakan bahan terbaik yang dapat dibuat menjadi karbon aktif karena karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa memiliki mikropori yang banyak, kadar abu yang rendah, kelarutan dalam air yang tinggi, dan reaktivitas yang tinggi (Subadra, 2005).

b. Dehidrasi

Dehidrasi dilakukan dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari atau memanaskannya dalam oven. Hal ini bertujuan untuk menguapkan seluruh kandungan air dan menurunkan kelembaban pada bahan baku. Produk yang dihasilkan pada proses dehidrasi adalah bahan baku yang kering karena kandungan airnya sudah menguap (Sembiring dan Sinaga, 2003).

c. Karbonisasi

Karbonisasi biasa disebut dengan pirolisis yang merincikan zat kompleks menjadi lebih sederhana dengan pemanasan. Proses ini merupakan pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan organik menggunakan alat pembakaran. Alat pembakaran yang digunakan dapat beragam jenisnya, mulai dari alat konvensional

seperti drum hingga menggunakan alat modern seperti *tube furnace*. Prinsip dari proses ini adalah mengupayakan keberadaan oksigen yang minimal atau tidak ada sama sekali agar proses pembakaran menjadi tidak sempurna (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Karbonisasi dilakukan pada suhu 400-700 °C dalam suatu sistem dengan keadaan atmosfer inert seperti argon atau nitrogen. Untuk mempertinggi daya serap karbon perlu dilakukan tahapan selanjutnya yaitu proses aktivasi. Selama karbonisasi banyak elemen non karbon, hidrogen, dan oksigen di ubah menjadi gas oleh dekomposisi pirolisis dari bahan mula-mula, dan atom-atom karbon bebas mengelompok dalam formasi kristalografis yang dikenal sebagai kristal grafit. Susunan kristal tidak beraturan, sehingga celah-celah bebas tetap ada di antaranya dan rupanya hasil dari penumpukan dan dekomposisi bahan-bahan tar ini mengotori atau paling sedikit memblokir karbon yang tidak terorganisasi (amorf). Bahan karbon yang demikian kemudian dapat di aktivasi secara parsial dengan mengubah produk tar dengan memanaskannya dalam aliran gas inert, atau dengan mengekstraksinya menggunakan pelarut yang sesuai, atau dengan reaksi kimia (Reinoso and Buss, 1993).

d. Aktivasi

Proses aktivasi adalah proses peningkatan pori-pori permukaan arang sehingga dapat meningkat daya adsorpsi terhadap cairan dan gas. Pada prinsipnya proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu cara kimia dan cara fisika (Maulana, 2017). Pada pembuatan arang aktif, mutu arang aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan baku yang digunakan, bahan pengaktif, suhu, dan cara

pengaktifannya (Hartoyo dkk., 1990). Proses aktivasi dibagi menjadi 2 macam yaitu:

1. Aktivasi Secara Fisika

Aktivasi termal adalah proses aktivasi yang melibatkan adanya gas pengoksidasi seperti udara pada suhu rendah, uap, CO₂, atau aliran gas pada suhu tinggi. Proses aktivasi fisika melibatkan gas pengoksidasi seperti pembakaran menggunakan suhu yang rendah dan uap CO₂ atau pengaliran gas pada suhu yang tinggi. Tetapi 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).

Kebanyakan arang diaktifkan dengan cara fisika. Perbedaan bahan baku akan menyebabkan variasi suhu pada metode termo. Pengarangan biasanya pada suhu 500-900 °C dan sebagai bahan pengaktifan dilakukan dengan steam (uap) atau gas CO₂ pada suhu 800-900 °C. Dalam proses yang menggunakan steam ini aktivasi berlangsung secara berkesinambungan karena reaksi karbon menjadi CO₂ adalah eksotermis (Kirk and Othmer, 1978).

2. Aktivasi Secara Kimia

Aktivasi kimia dilakukan dengan mencampur material karbon dengan bahan-bahan kimia atau aktivator, selanjutnya campuran dikeringkan dan dipanaskan. Aktivator adalah zat atau senyawa kimia yang berfungsi sebagai zat pengaktif dan zat ini akan mengaktifkan atom-atom karbon sehingga daya serapnya menjadi lebih baik. Zat aktivator bersifat mengikat air yang menyebabkan air yang terikat

kuat pada pori-pori karbon yang tidak hilang pada saat karbonisasi menjadi lepas. Selanjutnya zat aktivator tersebut akan memasuki pori dan membuka permukaan arang yang tertutup. Sehingga pada saat dilakukan pemanasan, senyawa pengotor yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terserap dan luas permukaan karbon aktif semakin besar serta meningkatkan daya serapnya. Bahan kimia yang dapat digunakan sebagai pengaktif diantaranya adalah CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaCl , MgCl_2 , HNO_3 , H_2SO_4 , HCl , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, KOH , H_3PO_4 , ZnCl_2 , dan sebagainya. Semua bahan aktif ini umumnya bersifat sebagai pengikat air (Dabrowski *et al.*, 2005).

Salah satu faktor penting dalam aktivasi kimia adalah tingkat impregnasi, yaitu tingkat perbandingan berat antara garam pengaktif anhidrat dengan bahan kering mula-mula. Pengaruh tingkat perendaman pada porositas produk yang dihasilkan terlihat dari kenyataan bahwa volume garam dalam karbon sama dengan volume pori-pori yang terbentuk. Jika tingkat impregnasi ditambah lebih jauh, jumlah diameter pori yang lebih besar bertambah dan diameter yang lebih kecil berkurang. Ketergantungan struktur karbon aktif pada jumlah bahan pengaktif yang ditambahkan dapat dilihat dari perubahan bentuk adsorpsi isoterm terhadap bahan-bahan gas (Sabio and Reinoso, 2004).

B. Tempurung Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan yang memiliki peranan penting di Indonesia sebagai penyumbang devisa non minyak dan gas bumi terbesar. Tanaman tersebut menghasilkan minyak nabati. Potensi produksi minyak nabati yang berasal dari tanaman kelapa sawit menghasilkan enam ton per

tahun dalam satu hektar tanaman tersebut (Sastrosayono, 2003). Pohon kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 2.

Menurut Pahan (2008) tanaman kelapa sawit secara taksonomi dapat diuraikan sebagai berikut :

Divisi : Embryophyta Siphonagama

Subdivisi : Angiospermae

Ordo : Monocotyledonae

Famili : Palmae

Sub-Famili : Cocoidae

Genus : *Elaeis*

Spesies : *Elaeis guineensis Jacq.*



Gambar 2. Pohon kelapa sawit.

Tempurung kelapa sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri usaha dan rumah tangga. Beberapa diantaranya adalah produk bernilai ekonomis tinggi, yaitu arang aktif, asap cair, fenol, briket arang, dan tepung tempurung. Jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa, tempurung kelapa sawit memiliki banyak kemiripan dan perbedaan. Perbedaan yang paling mencolok adalah pada kadar abu yang biasanya akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan (Harahap dkk., 2014). Kadar abu dari tempurung kelapa adalah 2,28 % sedangkan kadar abu dari tempurung kelapa sawit adalah 0,88 % (Pambayun dkk., 2013; Meisrilestari dkk., 2013). Tempurung kelapa sawit mengandung hemiselulosa sebesar 24 %, selulosa sebesar 40 %, dan lignin 21 % yang baik untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif (Haji, 2013).

C. Magnetit

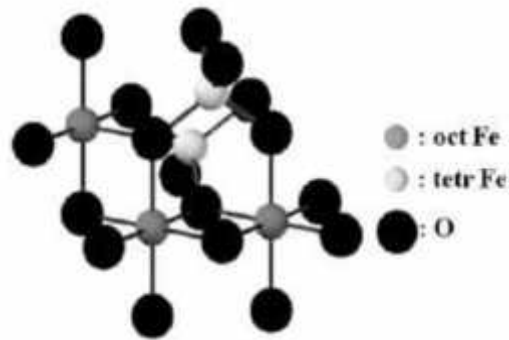
Oksida besi merupakan kelompok mineral yang tersusun dari oksida, hidroksida atau oksid-hidroksida. Oksida besi memiliki beberapa sifat karakteristik yaitu kelarutan yang rendah, stabilitas yang tinggi, warna yang mencolok dan luas permukaan yang tinggi. Karakteristik oksida besi tersebut menjadikan oksida besi adsorben yang sangat efektif untuk sejumlah spesies kimia terlarut (Schwertmann and Cornell, 2000). Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu bentuk oksida besi di alam selain maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Perbedaan sifat fisik dan magnetik dari ketiga oksida besi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 (Teja and Koh, 2009).

Tabel 2. Sifat fisik dan magnetik senyawa oksida besi

Sifat	Oksida		
	Hematit	Magnetit	Maghemit
Rumus molekul	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Fe_3O_4	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Densitas (g/cm^3)	5,25	5,18	4,87
Titik leleh ($^\circ\text{C}$)	1350	1583-1597	-
pH	6,5	5,5	5
Sifat kemagnetan	Ferromagnetik lemah atau antiferromagnetik	Ferromagnetik	Ferrimagnetik
M_s pada 300 K ($\text{A.m}^2/\text{kg}$)	0,3	92-100	60-80
Energi pembentukan bebas G_f° (kJ/mol)	-742,7	-1012,6	-711,1
Struktur Kristal	Rombohedral, Heksagonal	Kubus	Kubus atau tetrahedral
Tipe struktur	Corundum	Spinel terbalik	Spinel cacat
Gugus ruang	R3c (Heksagonal)	Fd3m	P4 ₃ 32 (kubus), P4 ₁ 2 ₁ 2 (tetragonal)
Parameter kisi (nm)	a=0,5034, c=1,375 (Heksagonal), agb=0,5427, a=55,3 $^\circ$ (rombohedral)	a = 0,8396	a = 0,83474 (kubus), a=0,8347, c=2,501 (tetragonal)

(Teja and Koh, 2009).

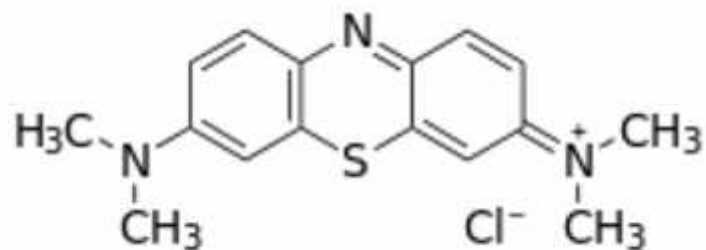
Magnetit (Fe_3O_4) merupakan oksida besi magnet alam yang berupa padatan berwarna hitam dengan massa jenis $5,1 \text{ g/cm}^3$. Senyawa magnetit tersusun dari campuran Fe(II) berupa FeO dan Fe(III) berupa Fe_2O_3 . Senyawa magnetit memiliki sifat ferimagnetik dan stabil terhadap suhu tinggi (Cotton et al. 1999). Magnetit mengadopsi bangun spinel terbalik, yaitu setengah jumlah ion Fe^{3+} menempati rongga tetrahedron dan setengah yang lain menempati rongga oktahedron dan semua ion Fe^{2+} menempati rongga oktahedron dari suatu tatanan kubus rapat muka (*face centered cubic*) ion O_2^- (Sugiyarto dan Suryanti, 2010). Struktur kristal magnetit dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kristal magnetit.

D. Metilen Biru

Metilen biru atau *methylene blue* yang memiliki rumus kimia $C_{16}H_{18}ClN_3S$, adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan merupakan zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat. Pada umumnya metilen biru digunakan sebagai pewarna sutra, wool, tekstil, kertas, peralatan kantor dan kosmetik. Senyawa ini berupa kristal berwarna hijau gelap. Ketika dilarutkan, metilen biru dalam air atau alkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru. Metilen biru memiliki berat molekul 319,86 g/mol, dengan titik lebur pada $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan daya larut sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L (Palupi, 2006). Struktur metilen biru dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur kimia molekul metilen biru.

Metilen biru merupakan salah satu zat warna yang digunakan pada industri tekstil. Metilen biru digunakan sekitar 5 % dalam pewarnaan sedangkan sisanya 95 % akan dibuang ke badan air, sehingga dapat mencemari lingkungan. Senyawa ini sangat stabil sehingga sulit terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apabila dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat meningkatkan nilai *chemical oxygen demand* (COD) yang dapat merusak keseimbangan ekosistem lingkungan (Riyanto dan Julianto, 2009).

E. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa fisik atau kimia pada permukaan yang dipengaruhi oleh suatu reaksi kimia antara adsorben dan adsorbat. Adsorben merupakan bahan padatan yang mampu mengadsorpsi sedangkan adsorbat adalah padatan, cairan, atau gas yang diadsorpsi. Dengan demikian, proses adsorpsi dapat terjadi antara padatan dengan padatan, gas dengan padatan, gas dengan cairan, cairan dengan cairan, dan cairan dengan padatan (Ketaren, 1986).

Adsorpsi merupakan proses terjadinya perpindahan massa adsorbat dari fase gerak (fluida pembawa adsorbat) ke permukaan adsorben (Setyaningsih, 1995).

Adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben yang aktif. Partikel yang terperangkap ke dalam adsorben seolah-olah menjadi bagian dari keseluruhan adsorben tersebut. Gaya tarik-menarik dari suatu padatan dibedakan menjadi dua jenis gaya, yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Oscik, 1982).

1. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya Van der Waals sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia. Dalam proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yakni gaya Van der Waals, gaya elektrostatik, ikatan hidrogen serta ikatan kovalen (Mahatmani dan Sumarni, 2003).

Dalam adsorpsi fisika, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi ini umumnya bersifat reversibel sehingga substansi yang telah teradsorpsi relatif mudah dilepaskan kembali dengan cara menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Energi yang menyertai fisisorpsi tergolong rendah yaitu berkisar antara 10 kJ/mol dan lebih rendah dari energi adsorpsi kimia yaitu minimal 20,92 kJ/mol (Adamson and Gast, 1997).

2. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Pada adsorpsi kimia, partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang meliputi pengaturan ulang dari densitas elektron yang terbentuk diantara adsorbat dan substrat yang cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasinya dengan substrat. Adsorpsi fisik dan kimia juga dikenali dari perubahan panas yang terjadi. Proses adsorpsi kimia berada dalam orde panas reaksi sedangkan panas adsorpsi fisika khususnya pada campuran gas lebih besar dan mencapai 2-3 kali panas kondensasi bahan yang diadsorpsi (Atkins, 1997).

Adsorpsi suatu zat pada permukaan sangat dipengaruhi oleh kondisi sistem.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain: (Weber, 1977 dan Sawyer and Charty, 1987):

a. Jenis adsorben

Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori atau pada letak-letak tertentu di dalam pertikel itu. Adsorben dapat menyerap adsorbat berdasarkan ciri khasnya, adsorben polar cenderung lebih kuat menyerap adsorbat yang polar dibanding adsorbat non polar. Begitu pula sebaliknya, adsorben non polar cenderung lebih kuat menyerap adsorbat non polar.

b. Luas permukaan adsorben

Luas permukaan adsorben sangat berpengaruh terutama untuk tersedianya tempat adsorpsi. Makin besar luas permukaan adsorben makin besar pula adsorpsi yang dilakukan atau adsorpsi sebanding terhadap luas permukaan adsorben.

c. Kemurnian adsorben

Adsorben buatan lebih sering digunakan daripada adsorben alam. Hal ini dikarenakan kemurnian adsorben buatan lebih tinggi dibanding dengan adsorben alam. Kemurnian adsorben buatan dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi. Semakin murni adsorben maka akan semakin baik pula adsorpsinya.

d. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul adsorbat menentukan batas kemampuannya melewati pori adsorben. Kecepatan adsorpsi menurun seiring dengan ukuran berat partikel. Adsorpsi akan semakin besar jika molekul adsorbat lebih kecil dari pori adsorben.

e. Konsentrasi adsorbat

Adsorpsi akan meningkat dengan kenaikan konsentrasi adsorbat. Konsentrasi adsorbat yang tinggi akan menghasilkan daya dorong yang tinggi bagi molekul adsorbat untuk masuk ke dalam situs aktif adsorben. Adsorpsi akan tetap jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi adsorben yang tersisa dalam larutan.

f. Pengocokan

Kecepatan adsorpsi dipengaruhi oleh difusi film atau difusi pori yang tergantung pada kecepatan pengocokan dalam sistem. Difusi pori umumnya mencapai optimum bila kontak sistem terjadi dengan pengocokan yang kuat. Oleh karena itu, diperlukan pengocokan untuk mempercepat proses adsorpsi.

g. Suhu

Reaksi pada adsorpsi biasanya terjadi secara eksotermis. Kecepatan adsorpsi akan naik pada suhu yang lebih rendah dan akan turun pada suhu yang lebih tinggi. Untuk senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada suhu kamar bahkan bila memungkinkan pada suhu yang lebih kecil.

h. pH larutan

Senyawa yang terdisosiasi lebih mudah diserap daripada senyawa terionisasi.

Untuk asam-asam organik, adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan dengan penambahan asam-asam mineral. Hal ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut, sebaliknya bila pH asam organik dinaikkan dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang karena terbentuknya garam. Pada umumnya adsorpsi bertambah pada kisaran pH dimana suatu senyawa organik bermuatan netral.

1. Kinetika Adsorpsi

Kinetika kimia adalah suatu kajian yang digunakan untuk mengetahui kecepatan dari suatu reaksi pada percobaan, untuk mengetahui mekanisme dari suatu reaksi tersebut dan juga akan dikemukakan bagaimana cara menentukan laju reaksi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Laju reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi reaktan atau produk setiap perubahan waktu (Chang, 2004).

Kinetika adsorpsi menggambarkan laju yang meliputi waktu dan reaksi adsorpsi. Kinetika adsorpsi menyatakan tingkat kecepatan penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Untuk mengetahui tentang mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi adsorpsi kimia untuk ion-ion logam, digunakan persamaan sistem pseudo orde pertama oleh Lagergren dan sistem pseudo orde kedua (Buhani *et al.*, 2010). Sistem pseudo orde pertama (Pers. 1) dan kedua (Pers. 2) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad (1)$$

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

Dengan q_t dan q_e (mg g^{-1}) merupakan jumlah zat yang teradsorpsi pada waktu t dan pada keadaan setimbang, k_1 dan k_2 masing-masing merupakan konstanta laju pseudo orde pertama dan kedua (Buhani *et al.*, 2017).

2. Kapasitas Adsorpsi

Untuk menentukan jumlah zat warna metilen biru yang teradsorpsi terhadap adsorben karbon aktif magnetit dapat digunakan persamaan kesetimbangan massa, sebagai berikut:

$$Q = (C_o - C_e) V/W \quad (3)$$

$$D = Q/C_e \quad (4)$$

$$\%A = (C_o - C_e)/C_o \times 100 \quad (5)$$

Dengan Q menyatakan jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg g^{-1}), C_o dan C_e menyatakan konsentrasi awal dan kesetimbangan dari ion logam (mmol L^{-1}), W adalah massa adsorben (g), V adalah volume larutan ion logam (L), A (%) adalah presentase teradsorpsi, D adalah rasio distribusi (mL g^{-1}) (Buhani *et al.*, 2009).

Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan kesetimbangan dan suhu tetap. Isotermal adsorpsi dibagi dua yaitu :

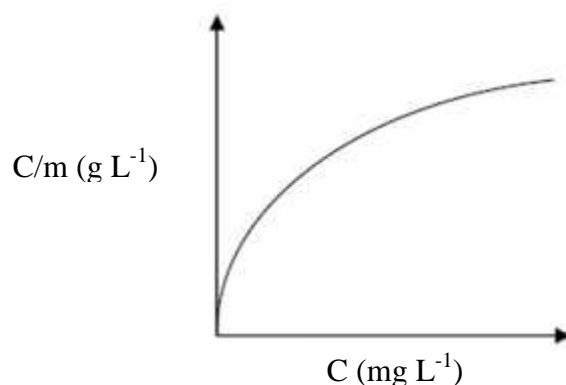
a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Irving Langmuir 1918 menggunakan model sederhana untuk mendeskripsikan serapan molekul pada permukaan padatan dan menurunkan persamaan untuk isoterm (Levine, 2003). Teori isoterm Langmuir juga menyatakan bahwa laju adsorpsi akan bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben, situs pada permukaan yang homogen, dan adsorpsi yang terjadi yaitu *monolayer* (Buhani *et al.*, 2013).

Persamaan umum Model isoterm adsorpsi Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (6)$$

Dengan q_e adalah jumlah adsorbat yang terserap dalam adsorben pada keadaan setimbang (mg g^{-1}), C_e (mg L^{-1}) merupakan konsentrasi kestimbangan adsorbat, q_m (mg g^{-1}) merupakan kapasitas adsorpsi maksimum, dan K_L (L mg^{-1}) merupakan konstanta kestimbangan adsorpsi (L mg^{-1}) (Buhani *et al.*, 2017). Grafik isoterm adsorpsi Langmuir diperlihatkan pada Gambar 5.



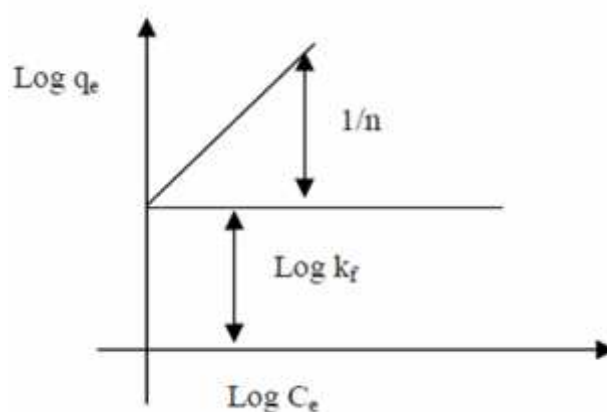
Gambar 5. Model isoterm adsorpsi Langmuir (Husin dan Rosnelly, 2005).

b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi yang terjadi bersifat heterogen atau tidak semua permukaan adsorben mampu mengalami adsorpsi, sehingga lapisan yang dihasilkan dari model adsorpsi ini akan bersifat *multilayer* (Buhani *et al.*, 2012). Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (7)$$

Dengan q_e adalah jumlah adsorbat yang terserap dalam adsorben pada keadaan setimbang (mg g^{-1}), C_e (mg L^{-1}) merupakan konsentrasi kesetimbangan adsorbat, K_f merupakan faktor kapasitas Freundlich (mol g^{-1}), dan n adalah faktor intensitas Freundlich dengan rentang nilai n sebesar 1-10 (Buhani *et al.*, 2017). Grafik isoterm adsorpsi Freundlich diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model isoterm adsorpsi Freundlich (Husin dan Rosnelly, 2005).

F. Karakterisasi

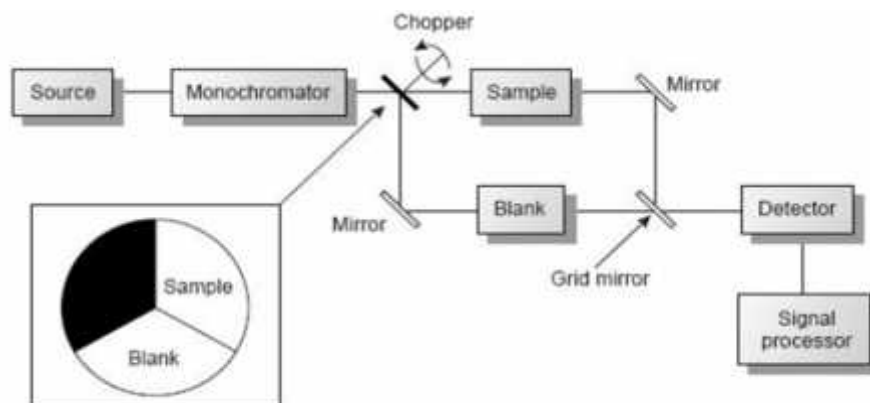
1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik *ultraviolet* (UV) (190-380 nm) dan sinar tampak atau *visible* (Vis) (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif daripada kualitatif (Mulja dan Suharman, 1995).

Menurut Khopkar (1984) komponen-komponen pokok dari spektrofotometer yang ditunjukkan pada Gambar 7 meliputi:

1. Sumber tenaga radiasi yang stabil, sumber yang biasa digunakan adalah lampu wolfram.
2. Monokromator untuk memperoleh sumber sinar yang monokromatis.
3. Sel absorpsi, pada pengukuran di daerah sinar tampak menggunakan kuvet kaca, tetapi untuk pengukuran pada UV menggunakan sel kuarsa karena gelas tidak tembus cahaya pada daerah ini.
4. Detektor radiasi yang dihubungkan dengan sistem meter atau pencatat. Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang.

Skema alat spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema alat spektrofotometer UV-Vis (Harvey, 2000).

Prinsip kerja dari alat ini adalah cahaya yang berasal dari lampu deuterium maupun wolfram yang bersifat polikromatis diteruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu kemudian akan dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diabsorpsi) dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian diterima oleh detektor. Detektor kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif (Khopkar, 1984).

2. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Difraksi sinar-X merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi cuplikan berupa kristal dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut akan memberikan interferensi yang konstruktif (Lukman, 2010). Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah intensitas relatif (I) dan sudut hamburan (2θ). Hamburan sinar-X berasal dari atom-atom yang membentuk bidang kisi kristal dari cuplikan yang diamati (Ghozali dkk., 2012). Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg

$$n\lambda = 2d \sin \theta ; n = 1, 2, \dots \quad (8)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat atau orde pembiasan (Lukman, 2010).

Difraksi akan bergantung pada struktur kristal dan panjang gelombangnya. Jika panjang gelombang jauh lebih besar daripada ukuran atom atau konstanta kisi kristal maka tidak akan terjadi peristiwa difraksi karena sinar akan dipantulkan sedangkan jika panjang gelombangnya mendekati atau lebih kecil dari ukuran atom atau kristal maka akan terjadi peristiwa difraksi (Ningrum, 2010).

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

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan analisis yang sangat berguna untuk mendapatkan gambaran umum morfologi suatu material sedangkan *Energy Dispersive X-Ray (EDX)* atau yang biasa disebut sebagai EDS atau analisis EDAX merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur dari suatu sampel. Sistem EDX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dari SEM/ FE-SEM dan tidak dapat beroperasi sendiri. EDX merupakan salah satu jenis *X-ray fluorescence spectroscopy* yang mengandalkan interaksi antara radiasi elektromagnetik dan sampel yang digunakan. Proses ini memanfaatkan sinar-X yang diemisikan oleh sampel sebagai respon terhadap partikel yang terkena muatan saat pengujian. Prinsip dasar dari karakterisasi EDX ini adalah bahwa masing-masing unsur memiliki struktur atom yang khas sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya secara spesifik.

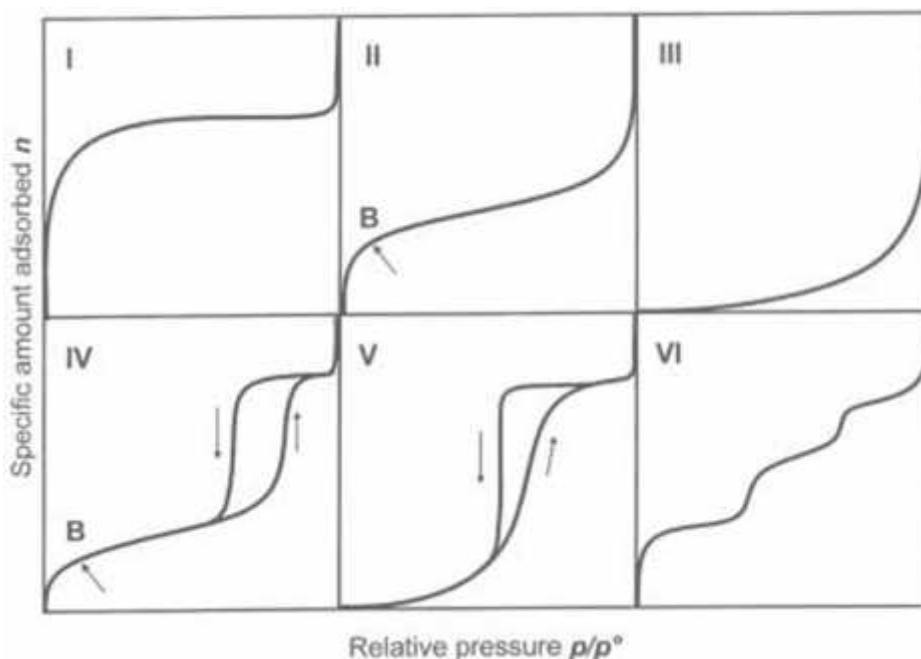
Pada pengujian EDX, laser energi tinggi (*high energy beam*) yang mengandung partikel bermuatan seperti elektron dan proton, difokuskan ke sampel. Dalam keadaan normal, elektron dari suatu atom berada pada *ground state* pada level energi tertentu yang terikat dengan inti. Adanya *incident beam* mengakibatkan tereksitasinya elektron pada kulit dalam ke kulit yang lebih luar. Adanya perbedaan energi yang tercipta antara energi yang lebih besar pada kulit terluar dan energi yang rendah pada kulit dalam dapat dilepas dalam bentuk sinar-X. Jumlah energi yang diemisikan dalam bentuk sinar-X dari sampel dapat diukur menggunakan *energy-dispersive spectrometer*. Karena energi dari sinar-X ini

merupakan karakteristik dari suatu unsur, maka ini memungkinkan kita untuk mengetahui komposisi kimia dari spesimen yang akan dianalisis (Agusta, 2012).

4. *Brunauer-Emmet-Teller (BET)*

Teknik karakterisasi BET yaitu karakterisasi dengan menggunakan metode adsorpsi gas, dapat memberikan informasi mengenai luas permukaan spesifik, total volume pori, distribusi ukuran pori, dan isoterm adsorpsi. Prinsip kerjanya yaitu berdasarkan adsorpsi fisis gas N₂, 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).

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan kesetimbangan dan suhu tetap (Arfan, 2006). Gambar 8 menunjukkan kurva antara jumlah gas yang teradsorpsi dengan tekanan gas dalam keadaan isotermis menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)* yang dibagi menjadi 6 jenis, yaitu:



Gambar 8. Tipe adsorpsi desorpsi isotermis pada padatan berdasarkan IUPAC

Berdasarkan Gambar 8 adsorpsi-desorpsi isotermis pada padatan dibagi menjadi 6 tipe. Tipe I atau yang biasa disebut isoterm Langmuir, menggambarkan adsorpsi satu lapis (*monolayer*). Tipe ini biasanya diperoleh dari adsorben mikropori. Tipe II menjelaskan adsorpsi oleh adsorben makropori. Titik B pada tipe II ini mengindikasikan tekanan relatif saat pelapisan monolayer selesai dan multilayer adsorpsi akan dimulai. Tipe III menunjukkan tipe kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan relatif bertambah. Tidak adanya titik B seperti pada tipe II disebabkan karena interaksi adsorbat yang lebih kuat dibanding adsorben. Sama seperti tipe II 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, dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat. Tipe IV dan V ini dihasilkan dari

adsorben berukuran mesopori. Tipe VI mengindikasikan permukaan adsorben yang memiliki struktur pori yang sangat seragam (Marsh *et al.*, 2006).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Februari-Mei 2018 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung. Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan BET *surface area* dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung. Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Botani FMIPA Unila.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas, mortar dan alu, gecep, spatula, neraca analitik, ayakan 200 μm , pengaduk magnetik, cawan porselin, aluminium foil, kertas saring, pH indikator universal, oven, desikator, sentrifus, tanur tipe Heraeus KR170E0, sonikator, spektrofotometer UV-Vis, XRD, SEM-EDX, dan BET *surface area*.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu arang tempurung kelapa sawit, metilen biru, akuades, larutan H_3PO_4 10 %, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , larutan NaOH 0,1 M, larutan HCl 0,1 M, larutan buffer asetat, buffer fosfat dan buffer universal.

C. Posedur Penelitian

1. Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif

Tempurung kelapa sawit yang diperoleh dari pabrik pengolahan *crude palm oil* (CPO) dibersihkan dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya dibakar di dalam drum yang terbuat dari plat besi sehingga diperoleh arang tempurung kelapa sawit. Arang yang diperoleh dari karbonisasi selanjutnya dihaluskan menggunakan mortar dan alu lalu diayak dengan ayakan berukuran 200 μm . Arang tempurung kelapa yang lolos dari ayakan selanjutnya diaktivasi dengan 2 cara yaitu aktivasi secara fisika dan aktivasi secara kimia kemudian dilanjutkan pelapisan dengan magnetit.

2. Proses Aktivasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit

a. Aktivasi Fisika

Sebanyak 100 gram arang tempurung kelapa sawit ditanur pada suhu 700 °C selama 1 jam. Kemudian dimasukkan dalam desikator agar suhunya stabil (Khuluk, 2016). Karbon aktif dipisahkan dengan abu yang terbentuk sehingga dihasilkan karbon aktif fisika (CAF).

b. Aktivasi Kimia

Karbon aktif hasil aktivasi fisika diambil sebanyak 25 gram lalu direndam dalam 50 mL larutan H_3PO_4 10 % selama 24 jam. Selanjutnya karbon aktif disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH 6 dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 1 jam dan didinginkan dalam desikator agar suhunya stabil (Khuluk, 2016). Hasil yang didapat berupa karbon aktif kimia (CAK).

c. Pembuatan Karbon Aktif Magnetit

Sebanyak 54 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dilarutkan ke dalam 200 mL akuades kemudian ditambahkan 50 gram CAF. Suspensi yang terbentuk dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 jam. Kemudian ditambahkan 50 mL larutan basa yang terbuat dari campuran 2,25 gram KNO_3 dan 15 gram NaOH tetes demi tetes sambil distirer. Selanjutnya suspensi yang dihasilkan disonikasi pada suhu 80 °C selama 1 jam. Setelah itu suspensi yang dihasilkan dari sonikasi disimpan semalam kemudian disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH 6. Karbon aktif fisika magnetit (CAF_M) yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C sampai kering (Wong *et al.*, 2015). Hal yang sama kemudian dilakukan terhadap karbon aktif hasil aktivasi kimia sehingga didapat karbon aktif kimia magnetit (CAK_M).

3. Karakterisasi Karbon Aktif

CAF, CAK, CAF_M dan CAK_M selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD untuk mengidentifikasi fasa kristalnya, SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur dari suatu sampel, dan BET

surface area untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi-desorpsi dan luas permukaannya.

4. Uji Adsorpsi

a. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 mg L⁻¹

Sebanyak 1 gram metilen biru dimasukkan dalam labu takar 1000 mL, kemudian ditambah akuades hingga tanda terra dan dihomogenkan.

b. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan mengukur nilai absorbansi larutan metilen biru 10 ppm pada panjang gelombang 500-700 nm. Panjang gelombang maksimum diperoleh dari kurva hubungan antara panjang gelombang dengan nilai absorbansi.

c. Pembuatan Kurva Standar

Kurva standar dibuat dengan cara mengukur nilai absorbansi larutan metilen biru dari 0,1 sampai 0,7 ppm pada panjang gelombang maksimum metilen biru. Fungsi dari pembuatan kurva standar ini adalah untuk mengetahui hubungan linieritas antara konsentrasi metilen biru dengan nilai absorbansinya.

d. Uji Adsorpsi

(1) Penentuan Volume Optimum

Larutan metilen biru 10 ppm disiapkan dengan variasi volume 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 mL. Masing-masing larutan tersebut ditambahkan adsorben sebanyak

0,05 g kemudian diaduk menggunakan pengaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh, diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 664 nm.

(2) Penentuan pH Optimum

Sebanyak 25 mL larutan metilen biru 10 ppm ditambahkan adsorben 0,05 g dengan variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10. Penurunan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,1 M dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 M. Masing-masing erlenmeyer ditambahkan larutan buffer untuk mempertahankan pH, buffer asetat untuk mempertahankan pH 3, 4, dan 5, buffer fosfat untuk pH 6, 7, dan 8, serta buffer universal untuk pH 10 kemudian larutan diaduk menggunakan pengaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh, diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 664 nm.

(3) Penentuan Waktu Kontak Optimum (Kinetika Adsorpsi)

Sebanyak 25 mL larutan metilen biru 10 ppm ditambahkan adsorben 0,05 g dan dibuat pada pH optimum kemudian diaduk menggunakan pengaduk dengan variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 60, 90, dan 120 menit dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh, diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 664 nm.

(4) Penentuan Konsentrasi Optimum (Isoterm Adsorpsi)

Sebanyak 25 mL larutan metilen biru dengan variasi konsentrasi 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300 dan 400 ppm ditambahkan adsorben 0,05 pada pH optimum. Kemudian diaduk menggunakan pengaduk pada waktu kontak optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh, diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 664 nm.

(5) Adsorpsi Simultan

Sebanyak masing-masing 12,5 mL larutan metilen biru dan kristal violet dengan konsentrasi optimum dicampur dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,05 g pada pH optimum. Kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk pada waktu kontak optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh, diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 664 nm untuk larutan metilen biru dan 591 nm untuk larutan kristal violet.

(6) Adsorpsi Sekuensial

Sebanyak 25 mL larutan kristal violet dengan konsentrasi optimum ditambahkan adsorben sebanyak 0,05 g pada pH optimum. Kemudian diaduk menggunakan pengaduk pada waktu kontak optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 591 nm. Endapan selanjutnya ditambahkan dengan 25 mL larutan metilen biru dengan

konsentrasi optimum. Kemudian diaduk menggunakan pengaduk pada waktu kontak optimum dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 664 nm.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Modifikasi karbon aktif fisika (CAF) dan karbon aktif kimia (CAK) dari tempurung kelapa sawit dengan teknik pelapisan magnetit telah berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan karakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDX, dan BET *surface area*.
2. Adsorpsi metilen biru oleh CAF, CAK, CAFM, dan CAKM optimum pada pH 8 dengan rentang volume optimum 20-30 mL, dan waktu kontak optimum 120 menit.
3. Kinetika adsorpsi metilen biru oleh CAF, CAK, CAFM, dan CAKM cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai k_2 masing-masing 191,104; 361,637; 325,150; dan 106,510 g mmol⁻¹ menit⁻¹.
4. Isoterm adsorpsi metilen biru oleh CAF, CAK, CAFM, dan CAKM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,995.

B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan:

1. Melakukan studi lebih lanjut terhadap uji adsorpsi simultan dan sekuensial pada karbon aktif terhadap zat warna lain atau logam berat sehingga dapat diaplikasikan ke lingkungan.
2. Melakukan modifikasi karbon aktif dengan teknik lain agar diperoleh adsorben dengan daya serap yang lebih baik sehingga efektif mengatasi limbah zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A. W. and A. P. Gast. 1997. *Physical Chemistry of Surface 6th edition*. John Willy and Sons. Inc. New York : 634.
- Agusta, D. 2012. Uji Adsorpsi Gas CO Pada Asap Kebakaran Dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Yang Terimpregnasi TiO₂. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Arfan, Y. 2006. Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol Serta Uji Kinerjanya. *Skripsi*. Departemen Teknik Kimia FT-UI. Depok.
- Atkins. 1997. *Kimia Fisika Edisi Keempat Jilid 2*. Erlangga. Jakarta : 438.
- Bansal, C. R. and M. Goyal. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press. Florida : 243.
- Buhani and Suharso. 2009. Immobilization of *Nannochloropsis* sp biomass by sol-gel technique as adsorbat of metal ion Cu(II) from aqueous solution. *Asian Journal Chemistry*. 21 (5) : 3799-3808.
- 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 Cd²⁺ Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 33 (1) : 418-429.
- Buhani, Musrifatun, D. S. Pratama, Suharso, and Rinawati. 2017. Modification of *Chaetoceros* sp. Biomass with Silica-Magnetite Coating and Adsorption Studies Towards Cu (II) in Single and Binary System. *Asian Journal of Chemistry*. 29 (12) : 2734-2738.
- Buhani, Rinawati, Suharso, D. P. Yuliasari, and S. D. Yuwono. 2017. Removal of Ni(II), Cu(II), and Zn(II) ions from aqueous solution using *Tetraselmis* sp. biomass modified with silica-coated magnetite nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*. 80 : 203–213.

- Buhani, Suharso, and A. Y. Fitriyani. 2013. Comparative Study of Adsorption Ability of Ni (II) and Zn (II) Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Toward Target Metal in Solution. *Asian Journal of Chemistry*. 25 (5) : 2875-2880.
- 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 Sumadi. 2010. Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd (II) Ion on *Nannochloropsis* sp Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. 259 : 140-146.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2012. Production of Ionic Imprinted Polymer from *Nannochloropsis* sp Biomass and its Adsorption Characteristics Toward Cu (II) Ion in Solutions. *Asian Journal of Chemistry*. 24 (1) : 133-140.
- 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. *Rayasan 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.
- Chang, R. 2004. *Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2*. Erlangga. Jakarta : 30.
- Christina, M., S. Mu'nisatun, 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 : 31-44.
- Cottet, L., C. A. P. Almeida, N. Naidek, M. F. Viante, M. C. Lopes, and N. A. Debacher. 2014. Adsorption Characteristics of Montmorillonite Clay Modified With Iron Oxide With Respect To Methylene Blue In Aqueous Media. *Applied Clay Science*. 95 : 25-31.
- Cotton, F. A., G. Wilkinson, C. A. Murillo, and M. Bochman. 1999. *Advanced Inorganic Chemistry*. J Wiley. Texas : 751.
- Dabrowski, A., P. Podkoscielny, Z. Hubiciki, and M. Barczak. 2005. Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon-a Critical Review. *Chemosphere*. 58 : 1049-1070.
- 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.

- Fan, F. L., Z. Qin, J. Bai, A. D. Rong, F. Y. Fan, W. Tian, X. L. Wu, Y. Wang, and L. Zhao. 2012. Rapid Removal of Uranium from Aqueous Solutions Using Magnetic $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ Composite Particles. *Journal of Environmental. Radioactivity*. 106 : 40-46.
- Faradina, E. dan Setiawati. 2010. Regenerasi Minyak Jelantah dengan Proses Bleaching Menggunakan Adsorben Arang Aktif. *Laporan Penelitian*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- Fatimah, I., S. Wang, and D. Wulandari. 2011. ZnO/Montmorillonite for Photocatalytic and Photochemical Degradation of Methylene Blue. *Applied Clay Science*. 53 : 553–560.
- Ghozali, A. I., W. Sugiyo, dan L. Latifah. 2012. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Red Menggunakan Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ Core Shell Nanostruktur. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 1 (1) : 79-84.
- Haji, A. G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9 (3) : 109-116.
- Handayani, L. W., I. Riwayat, dan R. D. Ratnani. 2015. Adsorpsi Pewarna Metilen Biru Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi. *Jurnal Momentum*. 11 (1) : 19-23.
- Harahap, H. H., U. Malik, dan R. Dewi. 2014. Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Menggunakan H_2O Sebagai Aktivator Untuk Menganalisis Proksimat, Bilangan Iodine, dan Rendemen. *Jurnal Online Mahasiswa FMIPA*. 1 (2) : 48-53.
- Hartoyo, N. H., dan Fadli. 1990. Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Dari Kayu Bakau Dengan Cara Aktivasi Uap. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 8 (1) : 18-16.
- Harvey, D. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. McGraw-Hill Companies Inc. New York : 390.
- Husin, H. dan C. M. Rosnelly. 2005. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*. ISSN: 0215-4609 : 1-10.
- Idris, M. N., Z. A. Ahmad., and M. A. Ahmad. 2011. Adsorption Equilibrium of Malachite Green Dye onto Rubber Seed Coat Based Activated Carbon. *International Journal of Basic and Applied Sciences*. 11 (3) : 38-43.

- Juliandini, F. dan Y. Trihadiningrum. 2008. Uji Kemampuan Karbon Aktif dari Limbah Kayu Dalam Sampah Kota Untuk Penyisihan Fenol. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VII*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya : 1-12.
- Kakavandi, B., A. J. Javari, R. R. Kalantary, S. Nasser, A. Esrafil, A. Gholizadeh, and A. Azari. 2016. Simultaneous Adsorption of Lead and Aniline onto Magnetically Recoverable Carbon: Optimization, Modeling, and Mechanism. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 91 (12) : 3000-3010.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. UI Press. Jakarta : 315.
- Khopkar, S. M. 1984. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-Press. Jakarta : 419.
- Khuluk, R. H. 2016. Pembuatan dan Karakteristik Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera L.*) sebagai Adsorben Zat Wara Metilen Biru. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Kirk, R. E and D. F. Othmer. 1978. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol.5. Interscience Encyclopedia. Inc. New York : 744-747.
- Levine, I. N. 2003. *Physical Chemistry*. University of New York Brooklyn. New York : 400.
- Lim, W. C., C. Srinivasakannan, and A. A. Shoaibi. 2015. Cleaner Production of Porous Carbon from Palm Shells Through Recovery and Reuse of Phosphoric Acid. *Journal of Cleaner. Production*. 102 : 501–511.
- Lukman, A. K. 2010. Pemanfaatan Admisel γ -Al₂O₃/HDTMA-Br Sebagai Media Untuk Menentukan Kadar Timah Melalui Reaksi Reduksi Dengan Metilen Biru. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Mahatmani, W. F. dan W. Sumarni. 2003. Kajian Termodinamika Penyerapan Zat Warna Indikator Metil Oranye (MO) Dalam Larutan Air Oleh Adsorben KITOSAN. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasinya*. 6 (2) : 1-19.
- Marsh, H. and R. R. Francisco. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science and Technology Books. Ukraina : 155.
- Maulana, R. G. G., L. Agustina, dan Susi. 2017. Proses Aktivasi Arang Aktif dari Cangkang Kemiri (*Aleurites moluccana*) dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Aktivator Kimia. *Ziraa'ah*. 24 (3) : 247-256.
- Mulja, M., dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Universitas Airlangga. Surabaya : 427.

- Muthmainah, F. 2013. Identifikasi Morfologi dan Molekuler Fungi (Isolat Ry) yang Dapat Mendegradasi Pewarna Sintetik. *Skripsi*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Myers, D. 1999. *Surfaces, Interfaces and Colloids: Principles and Applications, Second edition*. John Wiley and Sons, Inc. New York : 198.
- Ningrum, K. P. 2010. Pemanfaatan Admisel γ -Alumina/SDS dan Nanopartikel Perak Untuk Penentuan Kadar Arsen Berdasarkan Raksi Reduksi Metilen Biru. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. John Wiley and Sons. New York : 28.
- Pahan, I. 2008. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu Hingga Hilir*. Penebar Swadaya. Jakarta : 68.
- Palupi, E. 2006. Degradasi *Methylene Blue* dengan Metode Fotokatalisis dan Foelektrokatalisis Menggunakan Film TiO_2 . *Skripsi*. Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pambayun, G. S., R. Y. E. Yulianto, M. Rachimoellah, dan E. M. M. Putri. 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator ZnCl_2 dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik POMITS*. 2 (1) : 116-120.
- Peng, Y. G., D. J. Chen, J. L. Ji, Y. Kong, H. X. Wan, and C. Yao. 2013. Chitosan-Modified Palygorskite: Preparation, Characterization and Reactive Dye Removal. *Applied Clay Science*. 74 : 81–86.
- Popuri, S. R., A. Jammala, K. V. N. S. Reddy, K. Abburi. 2007. Biosorption of Hexavalent Chromium Using Tamarind (*Thamarindus indica*) Fruit Shell-a Comparative Study. *Electronic Journal of Biotechnology*. 10 (3) : 358-367.
- Prabowo, A. L. 2009. Pembuatan Karbon Aktif Dari Tongkol Jagung Serta Aplikasinya Untuk Adsorpsi Cu, Pb, dan Amonia. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- 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.
- Reinoso, F. R., and Buss, G.Y. 1993. Process for the Preparation of Activated Carbon. *European Patent EP 0329 251 B1*.
- 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.

- Sabio, M. M. and F. R. Reinoso. 2004. Role of Chemical Activation in the Development of Carbon Porosity. *Colloids and Surfaces A*. 241 : 15-25.
- Sari, M. F., P. Loekitowati, dan R. Mohadi. 2017. Penggunaan Karbon Aktif dari Ampas Tebu Sebagai Adsorben Zat Warna Procion Merah Limbah Cair Industri Songket. *Jurnal Pengelola Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 7 (1) : 37-40.
- 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.
- Sandi, A. P. dan Astuti. 2014. Pengaruh Wwaktu Aktivasi Menggunakan H_3PO_4 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 : 3.
- Sawyer, C. N. and P. L. M. Charty. 1987. *Chemistry for Engineering. Third Edition*. McGraw-Hill Book Company. New York : 89.
- Schwertmann, U. and R. M. Connel. 2000. *Iron Oxides in the Laboratory: Preparation and Characterization*. John Wiley and Sons. Inc. New York : 188.
- 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.
- Serrano, G.V., V.J. Pator, F.A. Perez, V.C. Duran, and C.C. Valenzuela. 1996. FT-IR Study of Rockrose and of Char and Activated Carbon. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 3: 71-80.
- Setyaningsih, H. 1995. Pengolahan Limbah Batik Dalam Proses Kimia dan Adsorpsi Karbon Aktif. *Thesis*. Universitas Indonesia. Depok.
- SNI. 1995. SNI 06-3730-1995: *Arang Aktif Teknis*. Dewan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Subadra, I., S. 2005. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Aktivator $(NH_4)HCO_3$ Sebagai Adsorben untuk Pemurnian Virgin Coconut Oil. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sugiyarto, K. H. dan R. D. Suryanti. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu. Yogyakarta : 167-168.

- 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.
- 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. Koh. 2009. Synthesis, Properties, and Application of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 55 (1) : 22-45.
- Weber, Jr. W. J. 1977. *Physicochemical Process for Water Quality Control*. John Wiley Interscience. New York : 640.
- Widihati, I. A. G., N. G. D. A. Suastuti, dan M. A. Y. Nirmlasari. 2012. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) menggunakan Arang Batang Pisang (*Musa paradisiaca*). *Jurnal Kimia*. 6 (1) : 8-16.
- Widjajanti, E., R. Tutik, dan M. P. Utomo. 2011. Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta : 115-122.
- Wong, K. T., N. C. Eu, S. Ibrahim, H. Kim, Y. Yoon, and M. Jang. 2016. Recyclable Magnetite-Loaded Palm Shell-Waste Based Activated Carbon for The Effective Removal of Methylene Blue From Aqueous Solution. *Journal of Cleaner Production*. 115 : 337-342.
- Wong, K. T., Y. Yoon. and M. Jang. 2015. Enhanced Recyclable Magnetized Palm Shell Waste-Based Powdered Activated Carbon for the Removal of Ibuprofen: Insights for Kinetics and Mechanisms. *Plos One*. 10 (10) : 1-18.
- Wong, K. T., Y. Yoon, M. Jang, and S. A. Snyder. 2016. Phenyl-Functionalized Magnetic Palm-Based Powdered Activated Carbon for The Effective Removal of Selected Pharmaceutical and Endocrine-Disruptive Compounds. *Chemosphere*. 152 : 71-80.
- Yuh, S. H., R. Malarvizhi, and N. Sulochana. 2009. Equilibrium Isotherm Studies of Methylene Blue Adsorption Onto Activated Carbon Prepared from Delonix Regia Pods. *Journal of Environmental Protection Science*. 3 : 111-116.
- Zendehdel, M., Z. Kalateh, and H. Alikhani. 2011. Efficiency Evaluation of NaY Zeolite and TiO₂/NaY Zeolite in Removal of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution. *Journal Iran J. Environ. Health. Sci. Eng.* 8: 265-272.

Zhou, C. H., D. Zhang, D. S. Tong, L. M. Wu, W. H. Yu, and S. Ismadji. 2012. Paper-Like Composites of Cellulose Acetate-Organo-Montmorillonite for Removal of Hazardous Anionic Dye In Water. *Chemical Engineering Journal*. 209 : 223–234.