

**STUDI ADSORPSI ION LOGAM Pb(II) PADA KARBON AKTIF
TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) YANG
DIMODIFIKASI DENGAN MAGNETIT (Fe₃O₄)**

(Skripsi)

Oleh

ADE RIKA NURALITA



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

ABSTRACT

STUDY ADSORPTION OF Pb(II) ION ON ACTIVATED CARBON FROM PALM OIL SHELL (*Elaeis guineensis Jacq.*) MODIFIED WITH MAGNETITE (Fe₃O₄)

By

Ade Rika Nuralita

In this study, activated carbon from palm oil shell has been synthesized and characterized by physical activation and chemical activation and then continued with magnetite coating on CAF and CAFK to produce carbon activated physically (CAF) and coated by magnetite (CAF_M) and carbon activated physically and chemically (CAF_K) and coated by magnetite (CAF_{KM}) as an adsorbent of Pb(II) ion in solution. The physical activation process was done at temperature of 700 °C and chemical activation was done by using H₃PO₄ activator. The coating process was done by addition of FeCl₃·6H₂O and FeSO₄·7H₂O compound. The characterization of activated carbon was characterized using X-Ray Diffraction (XRD) to identify the crystallinity, Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) to determine the surface morphology and element composition, also Brunnaeur Emmet Teller (BET) surface area to determine adsorption-desorption isotherm pattern and to determine the adsorbent surface area. The adsorption test of activated carbon to Pb(II) ion aimed for determine optimum adsorbent dose and adsorbat pH, also to determine kinetic model and adsorption isotherm model. Adsorption of Pb(II) ion optimum at dose 100 mg, at pH 6, contact time was obtained at 120 minutes, and the optimum concentration at 300 mg/L. Potential of Zero Charge (PZC) value for CAF, CAF_M, and CAF_{KM} at pH 7 and CAF_K at pH 6. The adsorption kinetics data of Pb(II) ion on CAF, CAF_K, CAF_M, and CAF_{KM} tend to follow the model of pseudo second order with k₂ values repeally 0,2396; 0,2052; 1,851 x 10⁵; and 0,5425 g/mg.min. The adsorption isotherm of Pb(II) ion on adsorbent tent to follow the model of Freundlich isotherms with correlation coefficient was 0,992.

Key words : Adsorption, activated carbon, palm oil shell, physical activation, chemical activation, magnetite coating, ion Pb(II).

ABSTRAK

STUDI ADSORPSI ION LOGAM Pb(II) PADA KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq.*) YANG DIMODIFIKASI DENGAN MAGNETIT (Fe₃O₄)

Oleh

Ade Rika Nuralita

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis dan karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit melalui aktivasi fisika dan kimia serta dilanjutkan dengan pelapisan magnetit pada CAF dan CAFK untuk menghasilkan karbon aktif yang diaktivasi secara fisika (CAF) dan dilapisi dengan magnetit (CAF_M) dan karbon aktif yang diaktivasi secara fisika-kimia (CAF_K) dan dilapisi dengan magnetit (CAF_{KM}) sebagai adsorben untuk mengadsorpsi larutan ion Pb(II). Proses aktivasi fisika dilakukan pada suhu 700 °C dan aktivasi kimia dilakukan dengan merendam karbon dalam aktivator H₃PO₄, serta pelapisan magnetit dilakukan dengan penambahan senyawa FeCl₃·6H₂O dan FeSO₄·7H₂O pada karbon aktif. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kekristalan dari karbon yang telah dilapisi dengan partikel magnetit, *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur, serta *Brunnaeur Emmet Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan, ukuran partikel, dan mengetahui pola isoterm adsorpsi-desorpsi. Uji adsorpsi larutan ion Pb(II) pada karbon aktif bertujuan untuk mengetahui dosis dan pH optimum, serta mengetahui model kinetika dan pola isoterm adsorpsinya. Adsorpsi ion Pb(II) optimum pada dosis adsorben 100 mg, pH 6, waktu kontak kontak 120 menit, dan konsentrasi optimum 300 mg/L. Nilai *Potential of Zero Charge* (PZC) untuk CAF, CAF_M, CAF_{KM} pada pH 7 dan CAF_K pada pH 6. Data kinetika adsorpsi ion Pb(II) pada CAF, CAF_K, CAF_M, dan CAF_{KM} cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai k_2 masing-masing 0,2396; 0,2052; 1,851 x 10⁵; dan 0,5425 g/mg.menit. Isoterm adsorpsi ion Pb(II) pada masing-masing adsorben cenderung mengikuti pola isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,992.

Kata kunci : Adsorpsi, karbon aktif, tempurung kelapa sawit, aktivasi fisika, aktivasi kimia, pelapisan magnetit, ion Pb(II).

**STUDI ADSORPSI ION LOGAM Pb(II) PADA KARBON AKTIF
TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) YANG
DIMODIFIKASI DENGAN MAGNETIT (Fe₃O₄)**

Oleh

ADE RIKA NURALITA

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**

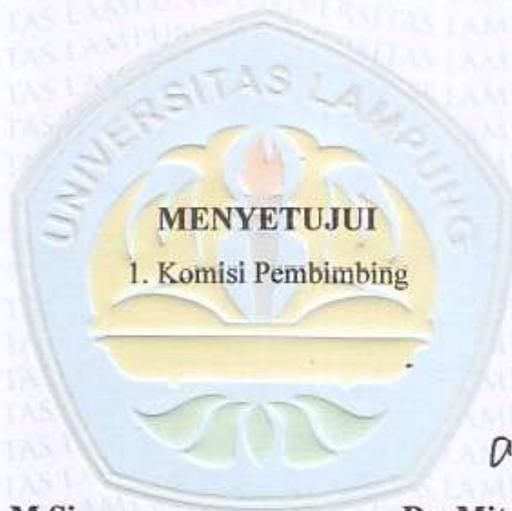
Judul Skripsi : **STUDI ADSORPSI ION LOGAM Pb(II) PADA KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq.*) YANG DIMODIFIKASI DENGAN MAGNETIT (Fe₃O₄)**

Nama Mahasiswa : *Ade Rika Nuralita*

No. Pokok Mahasiswa : 1517011049

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

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

MENGESAHKAN

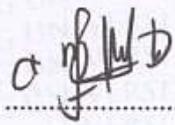
1. Tim Penguji

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



.....

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



.....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**

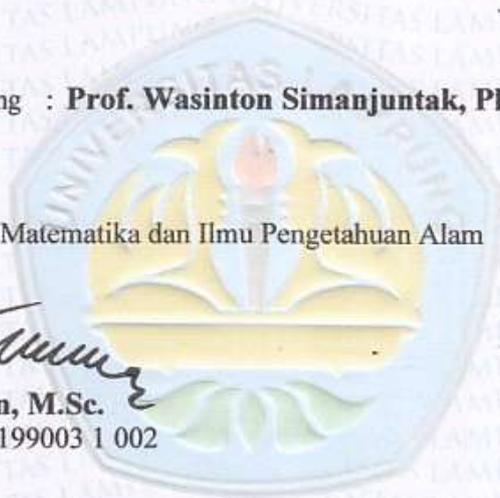


.....

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.
NIP. 19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 Oktober 2019**

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ade Rika Nuralita
Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011049
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Studi Adsorpsi Ion Logam Pb(II) pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) yang Dimodifikasi dengan Magnetit (Fe_3O_4)” 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 November 2019



Ade Rika Nuralita
NPM 1517011049

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kedondong, pada tanggal 18 Februari 1998, anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Edy Susanto dan Ibu Nurlaila. Jenjang pendidikan diawali dari Taman Kanak-kanak di TK Ratulangi Penengahan, Bandar Lampung pada tahun 2002 dan diselesaikan pada tahun 2003.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sekolah dasar di SD Negeri 5 Penengahan, Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2009. Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 10 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2012. Sekolah Menengah Atas di SMA YP Unila Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2015. Pada tahun 2015, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai anggota bidang SPIK (Sains dan Penalaran Ilmu Kimia) di Organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung periode 2015/2016. Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Anorganik I pada tahun 2018.

Pada bulan Juli 2018, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang diberi judul “Modifikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan Pelapisan Magnetit sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II), Metilen Biru, dan Kristal Violet. Pada tahun yang sama, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tanggal 22 Juli-24 Agustus 2018 di Desa Negara Ratu, Kecamatan Batanghari Nuban, Kabupaten Lampung Timur. Pada Februari-Mei 2019, penulis melaksanakan penelitian di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

*Tidak ada kesuksesan melainkan dengan pertolongan Allah.
(Q.S. Huud : 88)*

*Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Dan sesungguhnya
bersama kesulitan ada kemudahan.
(Q.S. Al-Insyirah : 5-6)*

*Bagi wanita pendidikan tinggi tidak hanya semata untuk mencari pekerjaan
karena kelak dia akan menjadi seorang Ibu. Ibu yang pintar akan melahirkan
anak-anak yang pintar.
(Yuni Astuti)*

*Allah tidak memberi apa yang kamu inginkan, melainkan memberi apa yang
kamu butuhkan.
(Bu buhani)*

*Orang hebat adalah dia yang mampu berjuang di tengah keterbatasannya.
(Penulis)*

Bismillahirrahmaanirrahiim

Alhamdulillahirabbil'alamiin

Puji syukur kuucapkan kepada Allah SWT, karena telah menghadirkan orang-orang berarti disekelilingku yang selalu memberikan semangat dan do'a, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Kupersembahkan karya sederhana ini sebagai tanda cinta, kasih, dan sayang serta baktiku kepada :

Kedua orang tuaku tercinta.

Ayah Edy Susanto dan Ibu Nurlaila

yang selalu memberikan cinta, kasih, sayang yang tulus, serta merawat dan mendidik dari aku yang seperti kaset kosong sampai saat ini sehingga dapat mempersembahkan karya sederhana ini.

Terimakasih telah mengajarkanku banyak hal tentang kebaikan, keikhlasan, dan kesabaran dalam berjuang, serta tak henti-hentinya mendo'akan, mendukung, dan senantiasa berjuang serta berkorban untuk anakmu.

Adikku tersayang.

Fitra Rizqi Ramadhani

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 kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Adsorpsi Ion Logam Pb(II) pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) yang Dimodifikasi dengan Magnetit (Fe_3O_4)”** sebagai salah satu 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 ridho 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. Kedua orang tuaku tercinta Ayah Edy Susanto dan Ibu Nurlaila yang tidak pernah berhenti berdo'a dan memohon kepada Allah SWT demi kesuksesan penulis, yang selalu berjuang dan bekerja keras tanpa mengenal lelah sehingga penulis dapat menyelesaikan studi hingga menjadi Sarjana Sains. Terima kasih atas segala perhatian, dukungan, semangat, serta pengorbanan

yang luar biasa untuk penulis. Semoga ayah dan ibu selalu diberi keberkahan dan selalu dalam lindungan Allah SWT.

2. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, semangat, saran, dan motivasi serta kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembimbing II dan pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, semangat, motivasi, kritik dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku pembahas yang telah memberikan ilmu, motivasi, nasihat, kritik dan saran sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M. T, selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung.
6. Bapak Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung.
7. 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 berkah.
8. Mba Liza Apriliya S., S.Si., selaku Laboran Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila yang telah banyak membantu dalam menyediakan alat-alat laboratorium untuk penelitian penulis.
9. Seluruh laboran, staff dan karyawan FMIPA Universitas Lampung atas seluruh bantuannya selama ini.

10. Adikku Fitra Rizqi Ramadhani yang selalu memberikan do'a, semangat, dukungan kepada penulis, dan selalu menemani penulis dengan kekonyolan dan lawakanmu dalam menyelesaikan skripsi ini, semoga Allah SWT selalu memberikanmu kemudahan dalam menjalankan pendidikan.
11. Keluarga besar "Senen Family" yang selalu memberikan do'a, semangat, saran, dan motivasi kepada penulis.
12. Teruntuk seluruh cucu mbah Geti Herawati yang selalu memberikan keceriaan, canda tawa, kekonyolan, semangat, serta perhatian kepada penulis. Semoga kebersamaan kita tetap terjalin hingga tua nanti.
13. Keluarga besar di Kedondong yang selalu memberikan do'a, dukungan, dan semangat kepada penulis.
14. Teman-teman terbaik "Gercep Squad", Aini, Miranda, Uci, Santi. Terima kasih atas canda tawa, keceriaan, dan ketulusan kalian yang selalu diberikan kepada penulis. Semoga segala urusan kalian dipermudah dan dilancarkan oleh Allah SWT. Semoga persahabatan dan silaturahmi ini akan terus terjalin.
15. Teman-teman seperjuangan *Adsorption Group* 2015 terhebat, Aini, Desy, Yanti, dan terkhusus tim karbon kesayanganku Miranda dan Trihan. Terima kasih atas kerja sama, dukungan, semangat, kebersamaan, dan kekeluargaan yang terjalin hingga penelitian ini berjalan dengan lancar sampai penulis dapat mempersembahkan karya ini. Maaf jika banyak salah dan selalu merepotkan kalian.
16. Teruntuk seluruh *Adsorption Group*, kakak-kakak terbaik : Fitria Luziana, S.Si., Ferita Anggriana, S.Si., Ana Devita Mutiara, S.Si., Ismi Aditya, S.Si., Asdini Virginia, S.Si., Meghafit Puspitarini, S.Si., Melita Sari, S.Si., Radho Alkausar, S.Si., Fentri Haryanti, S.Si., Murnita Anggraini, S.Si., serta Annisa

Siti Zulaicha, S.Pd. Terima kasih atas bantuan, nasihat, 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 2016 yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

17. Teman-teman di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik : Miranda, Aini, Trihan, Yanti, Desy, Tari, Asti, Hani, Mona, Dinda, Reni, Lia S., Yudin, Pila, Cibud, Nada, Fatma, Widya, Rifka, Eka, Desi, Puput, Ella, Jule, Dwi, Icil, Risyda, Naina, Lia P., Elsina, Harist, Ahmad Ammar, Aji, dan teman-teman lainnya. Terima kasih atas canda tawa, dukungan, dan kebersamaan selama ini.
18. Keluarga seperjuanganku di Kimia angkatan 2015, terima kasih atas segala suka dan duka yang telah dilalui selama 4 tahun ini. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga.
19. Adik-adik kimia 2016, 2017, 2018, 2019 yang telah memberikan semangat kepada penulis.
20. Teman-teman Tamasya (KKN) Desa Negara Ratu tersayang : Rully, Citra, Nada, Ojan, Donny, terima kasih atas kebersamaan, perhatian, kerja sama, dan canda tawa selama 32 hari KKN. Semoga silaturahmi kita tetap terjalin.
21. Sahabat SMA tersayang Indah Purnama Putri, S.E. dan Aprilia Indah Cahyani, Amd.Kep. yang selalu menemani hari bahagia penulis. Terima kasih atas segala perhatian dan dukungan kepada penulis. Semoga silaturahmi kita tetap terjalin.
22. Almamater tercinta Universitas Lampung.

23. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan 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, November 2019
Penulis

Ade Rika Nuralita

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Karbon Aktif.....	6
1. Klasifikasi Karbon Aktif.....	8
2. Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	10
3. Sifat Adsorpsi Karbon Aktif	14
B. Tempurung Kelapa Sawit	17
C. Magnetit.....	18
D. Logam Berat	20
1. Timbal (Pb).....	21
E. Adsorpsi.....	23
1. Adsorpsi Fisika	23
2. Adsorpsi Kimia	24
3. Kinetika Adsorpsi	24
4. Isoterm Adsorpsi.....	26
F. Nilai <i>Potential of Zero Charge</i> (PZC).....	30
G. Karakterisasi	32
1. Analisis Morfologi Permukaan	32

2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	33
3. Karakterisasi Luas Permukaan.....	34
4. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)	37
III.METODE PENELITIAN	39
A. Waktu dan Tempat.....	39
B. Alat dan Bahan	39
C. Posedur Penelitian	40
1. Preparasi dan Pembuatan Karbon	40
2. Aktivasi Karbon	41
3. Sintesis Magnetit (Fe_3O_4)	41
4. Pembuatan Karbon Aktif Magnetit	42
5. Karakterisasi Karbon Aktif	42
6. Penentuan <i>Potential of Zero Charge</i> (PZC) Karbon Aktif	43
7. Uji Adsorpsi	43
a) Pembuatan Larutan Ion Logam Pb(II) 1000 mg L^{-1}	43
b) Penentuan Dosis Optimum Adsorben	43
c) Penentuan pH Optimum	44
d) Penentuan Waktu Kontak Optimum	44
e) Penentuan Konsentrasi Logam Optimum	45
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN	46
A. Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit	46
B. Pembuatan Karbon Aktif Magnetit.....	49
C. Karakterisasi Karbon Aktif dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	50
D. Karakterisasi Karbon Aktif dengan <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	51
E. Karakterisasi Karbon Aktif dengan <i>Brunnaeur-Emmet-Teller</i> (BET) <i>surface area</i>	55
F. Penentuan <i>Potential of Zero Charge</i> (PZC) Karbon Aktif.....	57
G. Uji Adsorpsi.....	59
1. Penentuan Dosis Optimum Adsorben.....	59
2. Penentuan pH Optimum.....	61
3. Penentuan Waktu Kontak Optimum	64
4. Isoterm Adsorpsi.....	67

V. SIMPULAN DAN SARAN	73
A. Simpulan	73
B. Saran	74

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Syarat Mutu Karbon Aktif	8
2. Hasil Karakterisasi Karbon berdasarkan BET <i>Surface Area</i>	57
3. Parameter Kinetika Adsorpsi Ion Pb(II) terhadap CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM.....	67
4. Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM terhadap Ion Pb(II).....	70
5. Penentuan Kurva Standar Ion Pb(II) untuk Variasi Dosis Adsorben	83
6. Adsorpsi Ion Pb(II) pada Adsorben dengan Variasi Dosis Adsorben	83
7. Penentuan Kurva Standar Ion Pb(II) untuk Variasi pH Optimum	85
8. Adsorpsi Ion Pb(II) pada Adsorben dengan Variasi pH Optimum.....	85
9. Penentuan Kurva Standar Ion Pb(II) untuk Variasi Waktu Kontak.....	87
10. Adsorpsi Ion Pb(II) pada Adsorben dengan Variasi Waktu Kontak.....	87
11. Penentuan Kurva Standar Ion Pb(II) untuk Variasi Konsentrasi Optimum...	89
12. Adsorpsi Ion Pb(II) pada Adsorben dengan Variasi Konsentrasi Optimum..	89
13. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Satu pada CAF terhadap Ion Pb(II)	91
14. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Satu pada CAFK terhadap Ion Pb(II).....	92
15. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Satu pada CAFM terhadap Ion Pb(II).....	93

16. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Satu pada CAFKM terhadap Ion Pb(II).....	94
17. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Dua pada CAF terhadap Ion Pb(II)	95
18. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Dua pada CAFK terhadap Ion Pb(II).....	96
19. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Dua pada CAFM terhadap Ion Pb(II).....	97
20. Data Perhitungan Hasil Kinetika Pseudo Orde Dua pada CAFKM terhadap Ion Pb(II).....	98
21. Data Perhitungan dengan Persamaan Langmuir pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAF.....	99
22. Data Perhitungan dengan Persamaan Langmuir pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAFK.....	101
23. Data Perhitungan dengan Persamaan Langmuir pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAFM.....	102
24. Data Perhitungan dengan Persamaan Langmuir pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAFKM.....	103
25. Data Perhitungan dengan Persamaan Freundlich pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAF.....	105
26. Data Perhitungan dengan Persamaan Freundlich pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAFK.....	106
27. Data Perhitungan dengan Persamaan Freundlich pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAFM.....	108
28. Data perhitungan dengan Persamaan Freundlich pada Adsorpsi Ion Pb(II) oleh CAFKM.....	109
29. Data Perhitungan pH PZC terhadap CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM...	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur grafit dari arang aktif	7
2. Skema pembuatan karbon aktif secara umum.....	10
3. Tempurung kelapa sawit	18
4. Model isoterm adsorpsi Langmuir	28
5. Model isoterm adsorpsi Freundlich.....	29
6. Tipe adsorpsi desorpsi isotermis pada padatan berdasarkan IUPAC.....	36
7. Hasil preparasi sampel (a) tempurung kelapa sawit, (b) karbon tempurung kelapa sawit, (c) karbon tempurung kelapa sawit halus.	46
8. Hasil aktivasi karbon (a) karbon aktif fisika (CAF) dan (b) karbon aktif fisika-kimia (CAFK).....	49
9. Hasil modifikasi karbon magnetit (a) karbon aktif fisika magnetit (CAF _M) dan (b) karbon aktif fisika-kimia magnetit (CAF _{KM}).....	50
10. Hasil karakterisasi XRD dari (a) CAF, (b) CAFK, (c) Magnetit, (d) CAF _M , dan (e) CAF _{KM}	50
11. Hasil SEM dengan perbesaran 5000x pada permukaan adsorben (a) CAF, (b) CAFK, (c) CAF _M , (d) CAF _{KM}	52
12. Hasil karakterisasi EDX (a) CAF, (b) CAFK, (c) CAF _M , (d) CAF _{KM}	54
13. Isoterm adsorpsi-desorpsi pada (a) CAF, (b) CAFK, (c) CAF _M , (d) CAF _{KM}	56
14. Kurva nilai PZC karbon aktif.....	58
15. Hasil penentuan dosis optimum adsorben pada uji adsorpsi ion Pb(II).....	60

16. Hasil penentuan pH optimum pada uji adsorpsi ion Pb(II).....	61
17. Hasil penentuan waktu kontak optimum pada uji adsorpsi ion Pb(II).....	64
18. Kinetika pseudo orde satu pada CAF, CAFK, CAFM dan CAFKM terhadap ion Pb(II).....	65
19. Kinetika pseudo orde dua pada CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM terhadap ion Pb(II).....	66
20. Hasil penentuan konsentrasi optimum pada uji adsorpsi ion Pb(II).....	68
21. Pola isoterm Langmuir pada CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM terhadap ion Pb(II).....	69
22. Pola isoterm Freundlich pada CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM terhadap ion Pb(II).....	70
23. Kurva standar ion Pb(II) untuk variasi dosis adsorben	83
24. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFM dengan variasi dosis adsorben	84
25. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFKM dengan variasi dosis adsorben.....	84
26. Kurva standar ion Pb(II) untuk variasi pH optimum	85
27. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAF dengan variasi pH.....	86
28. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFK dengan variasi pH.....	86
29. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFM dengan variasi pH.....	86
30. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFKM dengan variasi pH.....	86
31. Kurva standar ion Pb(II) untuk variasi waktu kontak.....	87
32. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAF dengan variasi waktu kontak.....	88
33. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFK dengan variasi waktu kontak.....	88
34. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFM dengan variasi waktu kontak.....	88
35. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFKM dengan variasi waktu kontak.....	88
36. Kurva standar ion Pb(II) untuk variasi konsentrasi optimum.....	89
37. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAF dengan variasi konsentrasi.....	90
38. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFK dengan variasi konsentrasi.....	90

39. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFM dengan variasi konsentrasi.....	90
40. Adsorpsi ion Pb(II) terhadap CAFKM dengan variasi konsentrasi.....	90
41. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAF terhadap ion Pb(II).	91
42. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAFK terhadap ion Pb(II).	92
43. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAFM terhadap ion Pb(II).....	93
44. Pola kinetika pseudo orde satu pada CAFKM terhadap ion Pb(II).....	94
45. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAF terhadap ion Pb(II).....	95
46. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAFK terhadap ion Pb(II).....	96
47. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAFM terhadap ion Pb(II).	97
48. Pola kinetika pseudo orde dua pada CAFKM terhadap ion Pb(II).	98
49. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada ion Pb(II) oleh CAF.....	100
50. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada ion Pb(II) oleh CAFK.....	101
51. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada ion Pb(II) oleh CAFM.....	102
52. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada ion Pb(II) oleh CAFKM.....	104
53. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada ion Pb(II) oleh CAF.....	105
54. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada ion Pb(II) oleh CAFK.....	107
55. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada ion Pb(II) oleh CAFM	108
56. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada ion Pb(II) oleh CAFKM.....	109

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan terus meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia, baik pada lingkungan perairan, tanah, maupun udara. Namun, saat ini yang cukup menjadi perhatian ialah pencemaran di lingkungan perairan, karena sebagian besar limbah perindustrian, pertambangan, pertanian, dan perkotaan mencemari lingkungan perairan. Hal ini menyebabkan terganggunya kehidupan organisme air dan aktivitas manusia yang berhubungan dengan perairan. Pencemaran lingkungan terjadi karena banyaknya zat pencemar yang tersebar ke lingkungan perairan. Zat pencemar yang dihasilkan dapat berupa logam berat, seperti logam Pb, Fe, Cd, Cu, dan Zn (Suharso *et al.*, 2010, Buhani dan Suharso, 2010; Buhani *and* Suharso, 2006; Endah *et al.*, 2016). Pencemaran lingkungan perairan oleh limbah yang mengandung logam berat sangat berbahaya terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan (Lyer *et al.*, 2005).

Logam berat pada umumnya mempunyai sifat toksik bagi organisme hidup, walaupun ada beberapa logam berat yang diperlukan dalam jumlah kecil. Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup (Palar, 1994), tetapi logam berat tidak akan

mengkontaminasi lingkungan dan bersifat toksik apabila penggunaan setiap harinya sesuai dengan kebutuhan tubuh. Secara alamiah, unsur-unsur logam berat terdapat di alam dalam jumlah yang cukup sangat rendah. Kadar logam berat akan meningkat bila limbah perkotaan, pertambangan, pertanian, dan perindustrian yang mengandung logam berat masuk ke dalam lingkungan perairan. Masuknya logam berat ke dalam tubuh makhluk hidup dengan jumlah yang melebihi ambang batas dapat mengganggu aktivitas normal tubuh dan dapat bersifat racun (Palar, 1994).

Salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan khususnya lingkungan perairan ialah logam timbal (Pb), logam tersebut termasuk ke dalam golongan logam berat yang memiliki sifat toksik, jika dalam penggunaannya melebihi ambang batas. Logam timbal (Pb) merupakan logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi. Timbal (Pb) bersifat neurotoksin yang dapat masuk dan terakumulasi dalam tubuh manusia ataupun hewan, sehingga bahayanya terhadap tubuh semakin meningkat (Kusnoputranto, 2006). Hal itu menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada makhluk hidup di lingkungan perairan jika Pb terdapat dalam jumlah di atas ambang batas. Menurut Badan Standarisasi Nasional (SNI 7387.2009) ambang batas Pb sebesar 0,3 ppm.

Pengurangan kadar logam berat pada limbah industri perlu dilakukan untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Berbagai metode telah banyak digunakan untuk mengurangi kadarlogam berat pada limbah seperti oksidasi (Vaiano *et al.*, 2015), koagulasi dan flokulasi (Saitoh *et al.*, 2014),

adsorpsi (Weber *et al.*, 2014) dan pertukaran ion (Wu *et al.*, 2008). Dari beberapa metode tersebut, terdapat salah satu metode yang lebih efektif dan efisien yang dapat dijadikan sebagai metode penurunan kadar limbah logam berat yaitu melalui proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Metode adsorpsi ini memiliki kelebihan dari metode yang lain yaitu prosesnya lebih sederhana, biayanya relatif murah, ramah lingkungan, dan tidak adanya efek samping zat beracun (Buhani *et al.*, 2011; Buhani *et al.*, 2017).

Beberapa adsorben yang banyak digunakan dalam proses adsorpsi adalah karbon aktif, silika gel, alumina, dan zeolit (Suzuki, 1990). Diantara beberapa adsorben tersebut, karbon aktif ialah adsorben yang telah digunakan secara efektif untuk menghilangkan polutan-polutan organik, karena karbon aktif merupakan bahan yang berpori, memiliki permukaan yang luas, kemampuan adsorpsi yang besar, mudah diaplikasikan, dan biaya yang diperlukan relatif murah (Bansal *et al.*, 1988).

Selain keunggulan yang dimiliki karbon aktif sebagai adsorben, terdapat juga kekurangan dalam proses adsorpsi yaitu pada proses filtrasi. Filtrasi merupakan proses pemisahan filtrat dan residu yaitu berupa karbon aktif yang telah mengikat adsorbat. Ukuran partikel yang kecil menyebabkan hilangnya karbon aktif ini selama proses filtrasi sehingga adsorben ini tidak dapat digunakan berulang kali. Hal ini mengakibatkan tingginya kebutuhan karbon aktif bagi industri-industri yang memanfaatkan karbon aktif untuk pengolahan limbah yang dihasilkan (Fan *et al.*, 2012).

Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan dengan menggunakan bahan baku berupa tempurung kelapa sawit. Tempurung kelapa sawit termasuk bahan berlignoselulosa yang berkadar karbon tinggi dan mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dari kayu yaitu mencapai $1,4 \text{ g/cm}^3$, dimana semakin besar berat jenis bahan baku maka daya serap karbon aktif yang dihasilkan akan semakin besar (Pari dkk, 2008). Kandungan selulosa yang cukup besar yaitu 45% dan hemiselulosa sebesar 26% yang menyebabkan tempurung kelapa sawit ini baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif (Rasmawan, 2009).

Berdasarkan penjelasan di atas mengenai kekurangan karbon aktif pada filtrasi dalam proses adsorpsi menyebabkan para peneliti melakukan modifikasi karbon aktif melalui proses pelapisan magnetit (Fe_3O_4). Modifikasi ini bertujuan untuk meminimalisir kehilangan karbon aktif pada saat proses filtrasi dan menambah massa jenis karbon aktif sehingga dalam proses adsorpsi akan mudah dipisahkan dari adsorbat (Fan *et al.*, 2012).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka proses modifikasi karbon magnetit dari tempurung kelapa sawit ini sangat penting dilakukan. Selain untuk meningkatkan nilai ekonomis dari tempurung kelapa sawit, dapat juga digunakan sebagai sarana untuk pengurangan kadar logam berat seperti timbal (Pb) dalam limbah yang mencemari lingkungan perairan. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dilakukan uji adsorpsi karbon aktif yang telah

dimodifikasi dengan magnetit (Fe_3O_4) terhadap larutan yang mengandung ion logam Pb(II).

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari cara modifikasi dan karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan pelapisan partikel magnetit.
2. Menentukan dosis adsorben optimum dan zeta potensial adsorben karbon aktif magnetit dari tempurung kelapa sawit.
3. Mempelajari pengaruh pH, waktu kontak, dan konsentrasi ion Pb(II) yang teradsorpsi pada adsorben karbon aktif dan karbon aktif magnetit dari tempurung kelapa sawit.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang proses pembuatan dan karakterisasi serta proses adsorpsi karbon aktif magnetit dengan beberapa variasi percobaan dari tempurung kelapa sawit yang dapat digunakan untuk mengurangi kadar ion Pb(II).

II. TINJAUAN PUSTAKA

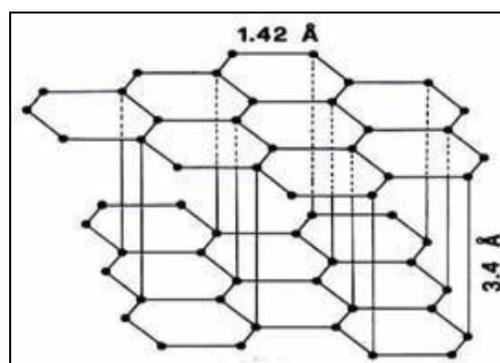
A. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Karbon aktif bersifat hidrofobik, yaitu molekul pada karbon aktif cenderung tidak bisa berinteraksi dengan molekul air. Karbon aktif diperoleh dengan proses aktivasi. Proses aktivasi merupakan proses untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang melapisi permukaan arang sehingga dapat meningkatkan porositas karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar yaitu sebesar $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$, dengan total volume pori-porinya sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{mg}$, dan diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$, sehingga sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Semakin luas permukaan pori-pori dari karbon aktif, maka daya serapnya semakin tinggi (Allport, 1997).

Karbon aktif adalah material berpori yang mengandung unsur karbon hidrogen, sulfur, dan material lainnya. Karbon aktif merupakan karbon yang telah diaktivasi sehingga terjadi perubahan struktur pori. Setelah melalui proses aktivasi, karbon aktif akan memiliki jumlah pori yang lebih tinggi dan

kemampuan adsorpsi yang lebih baik karena selama proses aktivasi, senyawa organik yang menutupi karbon dan bersifat volatil akan hilang (Austin, 1996). Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, dimana semakin besar pori-pori karbon aktif, maka mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Permukaan karbon aktif yang semakin luas menyebabkan daya adsorpsinya terhadap limbah cair semakin tinggi (Kirk *and* Othmer, 1992).

Menurut Hartanto dan Ratnawati (2010), karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar tersusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya seperti yang terlihat pada Gambar 1, sedangkan menurut Hendra (2006) karbon aktif adalah arang yang konfigurasi atom karbonnya dibebaskan dari ikatan dengan unsur lain, serta rongga atau pori dibersihkan dari senyawa lain atau kotoran sehingga permukaan dan pusat aktif menjadi luas dan daya serap terhadap cairan dan gas akan meningkat.



Gambar 1. Struktur grafit dari arang aktif (Hartanto dan Ratnawati, 2010).

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

Tabel 1. Syarat Mutu Karbon Aktif

Parameter	Persyaratan (dalam bentuk serbuk)
Bagian yang hilang pada pemanasan (%)	Maksimum 25
Air (%)	Maksimum 15
Abu (%)	Maksimum 10
Karbon aktif murni (%)	Minimum 65
Daya serap terhadap Iod (mg/g)	Minimum 750
Daya serap terhadap Metilen Biru (mg/L)	Minimum 120
pH	6-8

Sumber : standar industri Indonesia (SII-0258-79)

1. Klasifikasi Karbon Aktif

Berdasarkan bentuknya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu (Sukir, 2008):

1. Bentuk Serbuk

Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 0,18 mm yang digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Selain itu digunakan pada industri pengolahan air minum, industri farmasi, terutama untuk pemurnian monosodium glutamat, bahan tambahan makanan, penghilang warna asam furan, pengolahan pemurnian jus buah, penghalus gula, pemurnian asam sitrat dan asam tartarik, pemurnian glukosa, serta pengolahan zat pewarna kadar tinggi.

2. Bentuk Granular

Karbon aktif bentuk granular atau tidak beraturan dengan ukuran 0,2-0,5 mm. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Beberapa

aplikasi dari jenis ini digunakan untuk pemurnian emas, pengolahan air (air limbah dan air tanah), pemurni pelarut, dan penghilang bau busuk.

3. Bentuk Pellet

Karbon aktif berbentuk pellet dengan diameter 0,8-5 mm. Kegunaan utamanya adalah untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah, serta untuk pemurnian udara, kontrol emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran, dan pengontrol emisi pada gas buang.

Berdasarkan pori-porinya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu (Sukir, 2008):

1. Makropori

Bagian paling luar dari karbon aktif, dengan jari-jari lebih besar dari 50 nm dengan volume pori-pori 0,2-0,5 cm³/g dan luas permukaan 0,2-2 m²/g.

2. Mesopori

Memiliki jari-jari sekitar 2-50 nm dengan volume pori-pori mencapai 0,02-0,01 cm³/g dengan luas permukaan 1-100 m²/g.

3. Mikropori

Merupakan pori-pori terkecil dengan jari-jari kurang dari 2 nm dengan volume pori 0,15-0,5 cm³/gdan luas permukaan mencapai 100-1000 m²/g.

Menurut (Setyaningsih, 2008), berdasarkan fungsinya, karbon aktif dibedakan menjadi dua, yaitu :

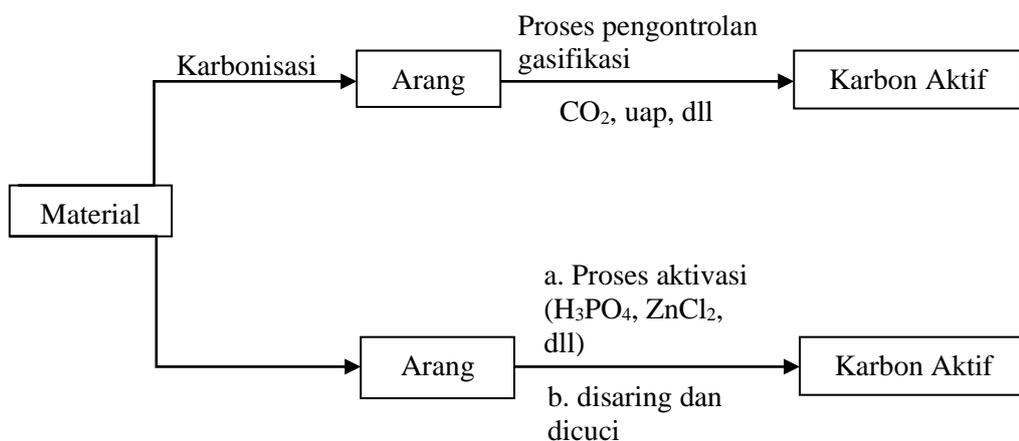
1. Karbon Penyerap Gas (*Gas Adsorbent Carbon*)

Jenis karbon ini digunakan untuk menyerap kotoran berupa gas. Pori-pori yang terdapat pada karbon jenis ini adalah mikropori yang menyebabkan molekul gas akan mampu melewatinya, tetapi molekul dari cairan tidak bisa melewatinya. Karbon jenis ini dapat ditemui pada karbon tempurung kelapa.

2. Karbon Fasa Cair (*Liquid-Phase Carbon*)

Karbon jenis ini digunakan untuk menyerap kotoran atau zat yang tidak diinginkan dari cairan atau larutan. Jenis pori-pori dari karbon ini adalah makropori yang memungkinkan molekul besar untuk masuk. Karbon jenis ini biasanya berasal dari batubara dan selulosa.

2. Proses Pembuatan Karbon Aktif



Gambar 2. Skema pembuatan karbon aktif secara umum (Marsh and Francisco 2006).

Gambar 2 menjelaskan secara skematis mengenai proses pembuatan karbon aktif secara umum. Ada 2 metode yang digunakan untuk membuat karbon aktif, yaitu metode aktivasi fisika (*physical/thermal activation*) dan aktivasi kimia (*chemical activation*). Namun, pada prinsipnya pembuatan karbon aktif terdiri atas tiga proses yang saling berkelanjutan sebagai berikut:

1. 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. Pemilihan bahan dasar untuk 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 Francisco, 2006).

2. Karbonisasi

Karbonisasi atau pengarangan adalah suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen sangat terbatas, biasanya dilakukan dalam tanur. Tujuan karbonisasi adalah untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap yang menutupi pori-pori karbon. Hilangnya zat yang mudah menguap tersebut dari karbon akan membuat struktur pori-pori karbon mulai terbuka. Pada proses karbonisasi inilah struktur pori awal karbon berubah.

Proses karbonisasi terjadi beberapa tahap yang meliputi penghilangan air atau dehidrasi, penguapan selulosa, penguapan lignin, dan pemurnian karbon.

Proses karbonisasi akan dihentikan apabila tidak mengeluarkan asap lagi.

Suhu tinggi memang diperlukan untuk mempercepat pembentukan pori karbon, namun perlu ada batasan suhu karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembentukan abu yang terlalu banyak sehingga dapat menutupi pori-pori dan menurunkan luas permukaan karbon. Pada suhu pemanasan sampai 400 °C terjadi penghilangan air, penguapan selulosa, dan penguapan lignin, sedangkan proses pemurnian karbon terjadi pada suhu 500-800 °C yang menghasilkan 80% unsur karbon (Marsh *and* Francisco, 2006).

3. Aktivasi

Aktivasi adalah bagian dalam proses pembuatan karbon aktif yang bertujuan untuk membuka, menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi.

Melalui proses aktivasi, karbon aktif akan memiliki daya adsorpsi yang semakin meningkat, karena karbon aktif hasil karbonisasi biasanya masih mengandung zat yang masih menutupi pori-pori permukaan karbon aktif.

Pada proses aktivasi karbon aktif akan mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia sehingga dapat berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Budiono dkk., 2009). Dalam hal aktivasi karbon aktif ini, terdapat 2 metode aktivasi yang umum digunakan, yaitu aktivasi fisika dan kimia.

a) Aktivasi Fisika

Bahan dasar dari karbon aktif diaktivasi menggunakan agen pengaktivasi dari gas CO₂ atau uap pada temperatur 500-800 °C. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik atau sifat dari karbon aktif yang dihasilkan melalui proses aktivasi fisika antara lain adalah bahan dasar, laju aliran kalor, laju aliran gas, proses karbonasi sebelumnya, suhu pada saat proses aktivasi, agen pengaktivasi yang digunakan, lama proses aktivasi, dan alat yang digunakan (Marsh *and* Francisco, 2006).

b) Aktivasi Kimia

Aktivasi ini merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Pada cara ini, proses aktivasi dilakukan dengan mempergunakan bahan kimia (aktivator) sebagai agen pengaktivasi. Aktivator adalah zat atau bahan kimia yang berfungsi sebagai reagen pengaktif pada adsorben karbon aktif sehingga dapat menyebabkan 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 akan memasuki pori dan membuka permukaan karbon aktif yang masih tertutup. Aktivasi karbon aktif dilakukan dengan merendam arang ke dalam larutan kimia yang bersifat asam (H₃PO₄ dan H₂SO₄), basa (KOH dan NaOH), dan bersifat garam (ZnCl₂ dan NaCl) (Dabrowski *et al.*, 2005).

3. Sifat Adsorpsi Karbon Aktif

Adsorpsi adalah suatu proses yang berhubungan dengan permukaan dimana terjadi interaksi antara molekul-molekul suatu fluida (cairan maupun gas) dengan permukaan molekul padatan. Interaksi tersebut disebabkan oleh adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan membentuk suatu lapisan tipis yang menutupi permukaan padatan (Anderson, 1991).

Sifat adsorpsi dari karbon aktif yang paling utama adalah daya serap.

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

1. Sifat Adsorben

Karbon aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon dan berbentuk amorf dengan struktur yang tidak beraturan. Selain komposisi, struktur pori juga merupakan faktor yang penting. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan.

Pembentukan luas permukaan internal yang berukuran mikro atau meso sebanyak mungkin, semakin kecil, dan banyak pori-pori karbon aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar karena jumlah molekul adsorbat yang diserap oleh adsorben akan meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori dari adsorben.

2. Ukuran Partikel

Ukuran partikel dapat mempengaruhi proses adsorpsi, semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin cepat proses adsorpsi. Untuk meningkatkan

kecepatan adsorpsi digunakan karbon aktif yang telah dihaluskan dengan ukuran mikro atau meso. Salah satu cara yang digunakan untuk memperkecil ukuran partikel dari suatu adsorben adalah dengan cara penggerusan secara perlahan dan dilakukan pemisahan partikel sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

3. Sifat Adsorbat

Adsorpsi akan semakin besar jika molekul adsorbat lebih kecil dari pori adsorben. Karbon aktif mampu menyerap molekul lain yang mempunyai ukuran lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben. Proses adsorpsi oleh karbon aktif terjadi karena terjebaknya molekul adsorbat dalam rongga karbon aktif.

4. Temperatur

Dalam pemakaian karbon aktif dianjurkan untuk mengamati temperatur pada saat berlangsungnya proses adsorpsi, karena tidak ada peraturan umum yang bisa diberikan mengenai temperatur yang digunakan dalam proses adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi temperatur pada saat proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa yang mudah menguap, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

5. pH (Derajat Keasaman)

Adsorpsi suatu adsorbat berupa logam berat ataupun zat warna akan meningkat bila pada pH sedang, yaitu pH 5-7, dimana pada pH tersebut permukaan adsorben akan bermuatan negatif dengan melepaskan proton sehingga melalui gaya elektrostatis akan terjadi tarik menarik dengan kompleks hidroksida logam bermuatan positif yang menyebabkan peningkatan adsorpsi. Pada pH yang lebih rendah, adsorpsi relatif kecil karena pada kondisi asam permukaan adsorben akan bermuatan positif sehingga terjadi tolak menolak antara permukaan adsorben dengan adsorbat yang bermuatan positif. Begitupun dengan pH tinggi, adsorbat yang bermuatan positif bila ditambahkan dengan larutan yang sangat basa maka akan terbentuk endapan karena konsentrasi OH^- yang tinggi dan pori permukaan adsorben akan mengalami deprotonasi sehingga terbentuk muatan negatif, maka akan terjadi tolakan antara permukaan adsorben dengan adsorbat yang mengakibatkan adsorpsi menjadi menurun (Lodeiro *et al.*, 2006).

6. Waktu Kontak

Bila karbon aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah karbon aktif yang digunakan. Selain ditentukan oleh dosis karbon aktif, pengadukan juga mempengaruhi waktu kontak. Pengadukan dilakukan untuk memberi kesempatan partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan senyawa adsorbat. Untuk larutan yang memiliki viskositas tinggi, dibutuhkan waktu kontak yang lebih lama (Sembiring dan

Sinaga, 2003). Waktu kontak yang lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung dengan baik.

B. Tempurung Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia yang perkembangannya sangat pesat. Dalam industri pengolahan minyak sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) akan diperoleh limbah industri. Limbah ini digolongkan menjadi limbah padat, cair, dan gas. Salah satu jenis limbah padatnya yaitu tempurung kelapa sawit. Tempurung kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang jumlahnya mencapai 60% dari produksi minyak inti. Limbah tempurung kelapa sawit berwarna hitam keabuan, bentuk tidak beraturan, dan memiliki kekerasan cukup tinggi (Purwanto, 2011).

Klasifikasi 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</i> Jacq.

Gambar 3 merupakan bentuk dari limbah tempurung kelapa sawit dari hasil pengolahan minyak *Crude Palm Oil* (CPO).



Gambar 3. Tempurung kelapa sawit (Rasmawan, 2009).

Tempurung kelapa sawit mengandung selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa sebesar 26% yang baik untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif (Rasmawan, 2009). Menurut Pope (1999), bahan organik yang mengandung lignin, hemiselulosa, dan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif dan dapat digunakan untuk adsorpsi limbah cair. Tempurung kelapa sawit termasuk bahan berlignoselulosa yang berkadar karbon tinggi dan memiliki massa jenis yang lebih besar dari kayu yaitu sebesar $1,4 \text{ g/cm}^3$, dimana semakin besar massa jenis bahan baku, maka daya serap karbon aktif yang dihasilkan akan semakin besar sehingga baik untuk dijadikan sebagai adsorben (Pari dkk, 2008).

C. Magnetit

Oksida besi termasuk salah satu mineral dalam tanah. Mineral-mineral oksida besi bersifat amfoter dan memiliki daya serap yang tinggi (Notodarmojo, 2005). Oksida besi memiliki empat fase yaitu magnetit

(Fe_3O_4), magemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan geotit ($\text{FeO}(\text{OH})$).

Hanya magnetit dan magemit yang bersifat magnet (Gong *et al.*, 2009).

Magnetit dikenal sebagai oksida besi berwarna hitam (*black iron side*) atau *ferrous ferrite* yang merupakan oksida logam yang paling kuat sifat magnetisnya (Teja dan Koh, 2008).

Tipe oksida besi yang lain, yaitu geotit, memiliki ciri fisik berwarna kuning kecokelatan dan juga bersifat antiferomagnetik. Secara fisik, magnetit berwarna hitam. Sementara itu, magemit berwarna coklat kemerah-merahan. Fase magnetit dan magemit memiliki sifat magnet yang baik, maka sering digunakan dalam berbagai aplikasi, misalnya dalam aplikasi biomedis sebagai *contrast agent* untuk pencitraan resonansi magnet (MRI) dan dapat digunakan sebagai penjerap logam berat dalam pengolahan air, terutama fase magnetit (Fe_3O_4) yang memiliki sifat magnet terbesar atau ferimagnetik. Magnetit (Fe_3O_4) dapat dihasilkan dari endapan campuran $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam suasana basa. Magnetit ini akan bersifat super paramagnetit ketika ukuran suatu partikel magnetitnya di bawah 10 nm pada suhu ruang artinya bahwa energi termal dapat menghalangi antisotropi energi penghalang dari sebuah nanopartikel tunggal. Oleh karena itu, sintesis nanopartikel mengatur ukuran suatu partikel magnetit yang menjadi salah satu kunci masalah dalam ruang lingkup sintesis magnetit (Teja dan Koh, 2008).

D. Logam Berat

Logam berat pada umumnya mempunyai sifat toksik dan berbahaya bagi organisme hidup, walaupun beberapa diantaranya diperlukan dalam jumlah kecil. Beberapa logam berat banyak digunakan dalam berbagai kehidupan sehari-hari. Secara langsung maupun tidak langsung toksisitas dari polutan itulah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran pada lingkungan sekitar (Koestoer, 1995). Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup dan dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi racun bagi tubuh makhluk hidup (Palar, 1994), tetapi logam berat tidak akan mengkontaminasi lingkungan dan bersifat toksik apabila penggunaan setiap harinya sesuai dengan kebutuhan tubuh. Logam berat didefinisikan sebagai unsur-unsur kimia yang memiliki densitas lebih dari 5 g/cm^3 dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 serta terletak pada periode 4 sampai 7 dalam sistem periodik unsur (Suhendrayatna, 2001).

Beberapa logam berat yang dapat mencemari lingkungan dan bersifat toksik adalah krom (Cr), perak (Ag), kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn), merkuri (Hg), tembaga (Cu), besi (Fe), molibdat (Mo), nikel (Ni), timah (Sn), kobalt (Co), dan unsur-unsur logam lain yang termasuk ke dalam kelompok logam ringan yaitu arsen (As), aluminium (Al), dan selenium (Se) (Purwaningsih, 2009). Menurut Connel dan Miller (1995), sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang yaitu

terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, serta bersifat toksik rendah yaitu Mn dan Fe. Logam berat dapat berpengaruh langsung pada rantai makanan walaupun konsentrasinya yang sangat rendah.

Menurut Sasongko (2002), logam berat memiliki beberapa sifat, yaitu:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai atau berubah.
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, yang nantinya dapat membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsinya.
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air.

Adapun logam berat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007).

Logam timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat molekul sebesar 207,20 g/mol. Titik leleh timbal adalah 1740 °C dan memiliki massa jenis sebesar 11,34 g/cm³(Widowati, 2008). Menurut Palar (1994), logam Pb pada

suhu 500-600 °C dapat menguap dan membentuk oksigen di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO).

Penggunaan logam Pb dalam kehidupan sehari-hari, antara lain (Fardiaz, 1992) :

- a. Timbal digunakan untuk produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa, solder, bahan kimia, pewarna (cat), dan lain-lain.
- b. Produk-produk yang harus tahan karat, timbal (Pb) digunakan dalam bentuk alloy, seperti pipa-pipa yang digunakan untuk mengalirkan bahan kimia yang korosif.
- c. Timbal juga digunakan sebagai campuran dalam pembuatan keramik yang disebut glaze, dalam bentuk PbO untuk membentuk sifat mengkilap pada keramik.

Timbal (Pb) merupakan logam yang bersifat neurotoksin yang dapat masuk dan terakumulasi dalam tubuh manusia ataupun hewan, sehingga bahayanya terhadap tubuh semakin meningkat (Kusnoputranto, 2006). Menurut Underwood dan Shuttle (1999), Pb biasanya dianggap sebagai racun yang bersifat akumulatif dan akumulasinya tergantung levelnya. Hal itu menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada ikan jika terdapat pada jumlah di atas ambang batas. Menurut Badan Standarisasi Nasional (SNI 7387.2009) ambang batas Pb yaitu 0,3 ppm.

Efek yang ditimbulkan jika keracunan timbal yaitu gangguan sistem pencernaan, gangguan sistem saraf pusat, dan anemia. Gejala awal biasanya ditandai dengan kehilangan nafsu makan, berat badan menurun, konstipasi,

lesu, muntah, mudah lelah, dan sakit kepala. Keracunan timbal parah dapat menyebabkan muntah, ataksi, gangguan penglihatan, peningkatan darah rendah, dan koma (Dreisbach dan Robertson, 1994).

E. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap ke dalam.

Interaksi yang terjadi akan menyebabkan sifat-sifat senyawa mengalami modifikasi atau perubahan. Dalam peristiwa adsorpsi terdapat dua istilah yaitu adsorbat yang merupakan zat atau molekul yang terserap ke permukaan padatan dan adsorben merupakan zat yang bertindak menyerap molekul atau zat lain.

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika didasarkan pada gaya *Van der Waals*. Jenis adsorpsi ini akan membentuk lapisan *multilayer* dengan besar energi adsorpsi yaitu sekitar 10 kJ/mol. Gaya yang terjadi pada adsorpsi ini adalah gaya-gaya fisika sehingga molekul yang teradsorpsi tidak terikat kuat pada adsorben yang mengakibatkan terjadinya proses balik yang cepat (*reversible*), sehingga mudah untuk digantikan dengan molekul lain (Atkins, 1990). Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam

adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150-200 °C selama 2-3 jam.

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya gaya kimia yang diikuti oleh reaksi kimia. Pada adsorpsi ini lapisan yang terbentuk yaitu *monolayer* dengan besar energi adsorpsi yaitu sekitar 100 kJ/mol. Ikatan yang terbentuk antara adsorben dan adsorbat adalah ikatan kimia sehingga sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*irreversible*) karena ikatan yang terjadi sangat kuat. Kemungkinan pelepasan adsorbat dari adsorben pada adsorpsi kimia sangat kecil (Alberty *and* Daniel, 1987) karena adsorpsi ini umumnya terjadi pada suhu tinggi di atas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, diperlukan energi yang lebih besar saat melakukan proses desorpsi untuk memutuskan ikatan antara adsorben dan adsorbat.

3. Kinetika Adsorpsi

Kinetika berarti laju reaksi, adsorpsi yaitu penyerapan suatu molekul zat. Menurut Oxtoby (2004), laju reaksi merupakan laju yang didapatkan karena adanya perubahan konsentrasi reaktan dalam suatu satuan waktu pada persamaan reaksi yang setimbang. Laju reaksi bergantung pada konsentrasi reaktan, tekanan, temperatur, dan pengaruh katalis.

Mekanisme adsorpsi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sistem pseudo pertama oleh Lagergen dan mekanisme pseudo orde kedua (Buhani *et*

al., 2010). Persamaan pseudo orde satu adalah persamaan yang digunakan untuk menggambarkan adsorpsi dan ditentukan dengan Persamaan 1 :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

Dimana:

q_e : jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)

q_t : jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g)

t : waktu (menit)

k_1 : konstanta laju pseudo orde pertama (menit⁻¹)

Persamaan dapat diintegrasikan dengan memakai kondisi batas seperti $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=q_t$ pada $t=t$, sehingga persamaan berubah menjadi Persamaan 2 :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Persamaan pseudo orde dua ditentukan dengan Persamaan 3 :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Dimana :

q_e : jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)

q_t : jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g)

t : waktu (menit)

k_2 : konstanta laju pseudo orde kedua (g/mg.menit)

Persamaan dapat diintegrasikan dengan penggunaan kondisi batas $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=q_t \text{ padat}=t$, sehingga diperoleh Persamaan 4 :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Untuk menghitung laju penyerapan awal, h (mg/g.menit) dengan kondisi $t=0$ dapat ditentukan dengan Persamaan 5 :

$$h = k_2 q_e^2 \quad (5)$$

Dimana:

h : laju adsorpsi awal (mg/g.menit)

q_e : kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g)

k_2 : konstanta laju pseudo orde dua (g/mg.menit)

Laju adsorpsi awal (h), kapasitas adsorpsi kesetimbangan (q_e), dan konstanta laju pseudo orde dua (k_2) dapat ditentukan secara eksperimen dari slop dan intersep plot dari t/q_t versus t (Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2017).

4. Isoterm Adsorpsi

Hubungan yang menyatakan keseimbangan antara konsentrasi dalam fasa cair dan konsentrasi dalam partikel adsorben pada suhu tertentu disebut isoterm adsorpsi. Jenis isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi fase cair-padat biasanya mengikuti model

isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2017).

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Teori model Langmuir ini menyatakan laju adsorpsi bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben, situs pada permukaan yang homogen dan adsorpsi yang terjadi yaitu *monolayer*. Dua tahapan yang terjadi selama proses adsorpsi yaitu perpindahan adsorbat dari fasa larutan ke permukaan adsorben dan adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorben.

Model isoterm adsorpsi Langmuir dapat dinyatakan dalam Persamaan 6 :

$$\frac{C}{n} = \frac{1}{nmK} + \frac{C}{nm} \quad (6)$$

Dimana :

C : konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

n : jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)

nm: jumlah zat yang teradsorpsi pada keadaan jenuh (mg/g)

K : konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

Energi adsorpsi adalah energi yang dihasilkan apabila satu mol zat teradsorpsi dalam adsorben dan jumlahnya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi Gibbs standar (ΔG°) yang dapat dihitung dengan Persamaan 7 :

$$E_{\text{ads}} = \Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = -RT \ln K \quad (7)$$

Dimana :

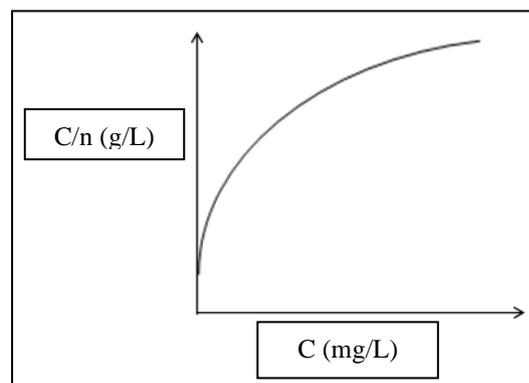
R : tetapan gas umum (8,314 J/molK)

T : temperatur (K)

K : konstanta kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir (L/mg)

Dengan persamaan tersebut maka energi total adsorpsi E harganya sama dengan negatif energi bebas Gibbs (Oscik, 1982).

Grafik isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Model isoterm adsorpsi Langmuir (Husin dan Rosnelly, 2007).

b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm Freundlich menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah *multilayer*. Hal tersebut berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika, dimana adsorpsi

dapat terjadi pada banyak lapisan (*multilayer*) (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2015).

Adapun bentuk persamaan linier Freundlich terdapat pada Persamaan 8 :

$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e \quad (8)$$

Dimana :

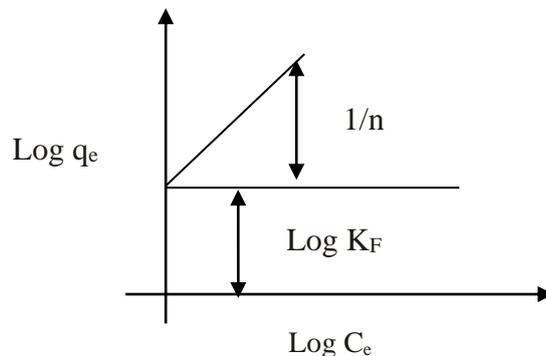
q_e : jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)

C_e : konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan (mg/L)

K_F : faktor kapasitas Freundlich (mg/g)(L/mg)^{1/n}

n : faktor intensitas Freundlich (mol/g)

Dari Persamaan 8 dapat dibuat grafik seperti Gambar 5 :



Gambar 5. Model isoterm adsorpsi Freundlich (Rousseau, 1987).

Bentuk linier dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data percobaan dengan cara mengplotkan C/q terhadap C_e . Konstanta Freundlich (K_F) dapat diperoleh dari kemiringan garis lurus dan $1/n$ merupakan harga slop. Bila n diketahui maka K_F dapat dicari, semakin besar harga K_F maka daya adsorpsi akan semakin baik dan dari harga K_F yang diperoleh maka energi

adsorpsi dapat dihitung (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015).

Selain itu, untuk menentukan jumlah adsorbat yang teradsorpsi, rasio distribusi, dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi terhadap adsorben karbon aktif dapat digunakan Persamaan 9, 10, dan 11:

$$Q = (C_o - C_e)V/W \quad (9)$$

$$D = Q/Ca \quad (10)$$

$$\alpha = DM1/DM2 \quad (11)$$

Dimana :

Q : jumlah adsorbat teradsorpsi (mg/g)

Co: konsentrasi awal adsorbat sebelum teradsorpsi (mg/L)

Ce: konsentrasi adsorbat setelah teradsorpsi (mg/L),

W : massa adsorben (g),

V : volume larutan adsorbat (L)

D : Rasio Distribusi (L/g)

α : Koefisien selektivitas

(Buhani *et al.*, 2009; Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2012).

F. Nilai *Potential of Zero Charge* (PZC)

Nilai *Potential of Zero Charge* (PZC) merupakan parameter penting untuk mengetahui kestabilan dispersi partikel dalam suatu suspensi. Suspensi yang stabil ditunjukkan oleh nilai zeta potensial yang besar, karena menunjukkan adanya gaya tolak menolak yang besar antar partikel yang satu dengan

partikel yang lain dalam suatu sistem suspensi. Nilai PZC yang tinggi juga menunjukkan kapasitas dispersi yang tinggi. Kegunaan nilai PZC yaitu untuk mengetahui kestabilan suatu larutan, untuk memprediksi morfologi permukaan suatu partikel, dan untuk mengetahui muatan permukaan. Nilai PZC menunjukkan tingkatan tolak menolak antara partikel yang bermuatan sama yang saling berdekatan. Pada sistem koloid, nilai zeta potensial yang tinggi akan memberikan stabilitas larutan untuk menolak agregasi.

Sebaliknya, ketika nilai PZC rendah maka daya tarik menarik muatan antar partikel dispersi melebihi daya tolak menolaknya sehingga terjadi flokulasi. Jadi koloid dengan nilai PZC yang tinggi adalah elektrik stabil. Sedangkan koloid dengan nilai PZC yang rendah cenderung akan mengental/flokulasi.

Elektroforesis digunakan untuk memperkirakan nilai PZC suatu partikel.

Dalam praktiknya, nilai PZC larutan diukur dengan menerapkan medan listrik di seluruh larutan. Partikel dalam larutan dengan nilai zeta potensial akan berpindah menuju elektroda dengan muatan berbeda, dimana kecepatannya sebanding dengan besarnya nilai PZC. Nilai PZC dalam medium polar memiliki sifat hidrofilik yang menyebabkan ikatan koloid dengan air menjadi lebih kuat. Koloid-koloid bermuatan tak sejenis saling tarik menarik melebihi daya tolak menolaknya sehingga terjadi flokulasi. Terjadinya flokulasi menunjukkan potensi perubahan nilai PZC dan kemungkinan tak ada kelebihan muatan di permukaan. Dengan melakukan pengukuran PZC terhadap aliran limbah yang dihasilkan suatu industri kimia akan membuat kondisi pengolahan limbah menjadi lebih optimal (Ravikumar *et al.*, 2012).

G. Karakterisasi

1. Analisis Morfologi Permukaan

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan suatu sampel. Untuk mengetahui karakterisasi material yang heterogen pada permukaan bahan pada skala mikrometer atau bahkan submikrometer serta menentukan komposisi unsur sampel secara kualitatif maupun kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan satu perangkat alat SEM yang dirangkaikan dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX). SEM adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi sehingga hasil yang diperoleh dari analisis dengan SEM yaitu bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan sedangkan dengan EDX dapat diketahui komposisi serta kadar unsur dalam sampel.

Cara kerja SEM yaitu gelombang elektron dari *electron gun* terkondensasi pada lensa kondensor dan terfokus menjadi titik yang jelas pada lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnet untuk sinar elektron. Berkas sinar yang mengenai cuplikan akan menghasilkan sinar elektron sekunder yang dikumpulkan oleh detektor sekunder. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik dengan berbagai intensitas di permukaan *cathode ray tube* sebagai topografi gambar (Kroschwitz, 1990). Pada sistem ini, elektron akan dikonsentrasikan pada spesimen bayangannya yang diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar (Gabriel, 1993).

Prinsip kerja EDX yaitu analisis kualitatif yang dilakukan dengan cara menentukan energi dari puncak yang ada dalam spektrum dan membandingkan dengan tabel energi emisi sinar-x dari unsur-unsur yang telah diketahui, selain mengetahui keberadaan suatu unsur dalam sampel, hasil analisis EDX juga dapat menunjukkan konsentrasi unsur tersebut.

Untuk melakukan analisis kuantitatif maka perlu dilakukan beberapa proses antara lain meniadakan *background*, dekonvolusi *peak* yang bertumpang tindih dan menghitung konsentrasi unsur (Larry, 2001).

2. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. Prinsip kerja dari XRD secara umum yaitu 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 berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor akan merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik (Ratnasari, 2009).

Bila seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan

ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material (Ratnasari, 2009).

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, yaitu :

$$n\lambda = 2.d.\sin \theta; n = 1, 2, \dots \quad (12)$$

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).

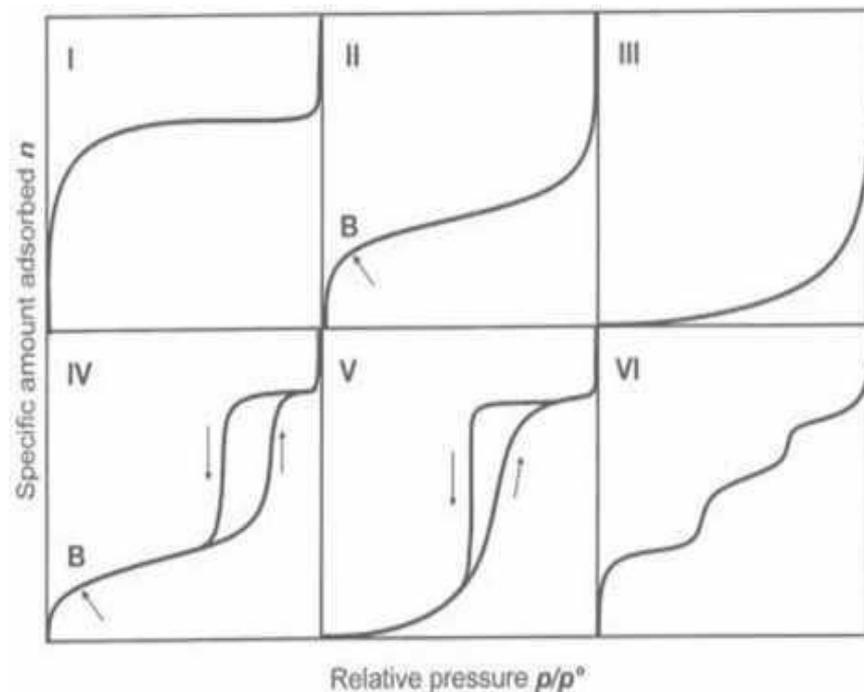
3. Karakterisasi Luas Permukaan

Analisis luas permukaan dapat dilakukan dengan metode BET *surface area*. Metode BET dikembangkan tahun 1938 oleh Brunauer-Emmet-Teller dengan menggunakan 2 jenis pengukuran yaitu *single point* dan *multi point*. Pengukuran *single point* dilakukan bila profil isoterm telah diketahui dan dilaksanakan pada suatu nilai tekanan parsial adsorbat dimana isotermnya

bersifat linier. Sedangkan pengukuran *multi point* dilakukan bila profil isotermnya belum diketahui dan dapat dilakukan dengan memvariasikan nilai tekanan parsial adsorbat pada rentang $0,05 < (P/P_o) < 0,35$. Bila adsorbat yang digunakan adalah gas nitrogen maka nitrogen cair digunakan sebagai media cair pendinginnya. Melalui analisis BET dapat diketahui volume pori-pori total dan diameter pori rata-rata (Slamet, 2007).

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 N_2 , 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 6 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 6. Tipe adsorpsi desorpsi isothermis pada padatan berdasarkan IUPAC (Marsh *et al.*, 2006).

Berdasarkan Gambar 6 adsorpsi-desorpsi isothermis pada padatan dibagi menjadi 6 tipe. Tipe I atau yang biasa disebut isotherm 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. Pada tipe IV tidak ada titik B seperti 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).

4. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Dalam proses adsorpsi keberhasilan adsorben dalam mengikat ion dapat dilihat menggunakan SSA. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) juga dapat digunakan untuk mengetahui kadar ion logam yang teradsorpsi maupun yang terdapat dalam adsorben. Ion logam yang teradsorpsi dapat dihitung secara kuantitatif berdasarkan selisih konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi.

Metode analisis dengan SSA didasarkan pada penyerapan energi cahaya oleh atom-atom netral suatu unsur yang berada dalam keadaan gas. Penyerapan cahaya oleh atom bersifat karakteristik karena setiap atom hanya menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu yang energinya sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektron-elektron dari atom yang bersangkutan ditingkat yang lebih tinggi, sedangkan energi transisi untuk masing-masing unsur adalah sangat khas. Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan metode spektroskopi emisi konvensional. Pada metode konvensional emisi

ini tergantung pada sumber eksitasi, bila eksitasi dilakukan secara termal maka akan tergantung pada temperatur sumber (Khopkar, 1984).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Februari-Mei 2019 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium FMIPA Institut Teknologi Surabaya (ITS). Kemudian analisis morfologi permukaan dan komposisi unsur pada karbon aktif menggunakan *Scanning Electron Microscope* yang dirangkaikan dengan *Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis luas permukaan karbon aktif dengan menggunakan alat BET *surface area* dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung (ITB). Analisis hasil adsorpsi logam menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Gadjah Mada.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas, spatula, neraca analitik, pengayak (*siever*) ukuran 100 μm , tanur tipe Heraus KR170E0, pengaduk magnet, cawan porselin, pH meter, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-

EDX) tipe JEOL-JSM-6510LA, BET *surface area* tipe Quantachrome TouchWin v1.0, dan spektrofotometer serapan atom (SSA) tipe Buck Scientific 210 VGP.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu arang tempurung kelapa sawit, aluminium foil, kertas saring, pH indikator universal, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, akuades, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, H_3PO_4 , NaNO_3 , HCl , NaOH , dan larutan Buffer.

C. Posedur Penelitian

1. Preparasi dan Pembuatan Karbon

Tempurung kelapa sawit yang diperoleh dari PT. Inti Sentosa Alam Bahtera (ISAB) Lampung dibersihkan dan dikeringkan dibawah sinar matahari.

Tempurung kelapa sawit yang telah bersih selanjutnya dikarbonisasi dengan cara dibakar didalam drum selama kurang lebih 6 jam sehingga diperoleh karbon tempurung kelapa sawit. Karbon yang diperoleh dari karbonisasi selanjutnya dihaluskan menggunakan alat penggiling (mortar dan alu) lalu diayak dengan menggunakan pengayakan berukuran 100 μm . Karbon tempurung kelapa sawit yang lolos dari ayakan selanjutnya diaktivasi dengan 2 cara yaitu aktivasi secara fisika dan aktivasi secara fisika-kimia kemudian dilanjutkan pelapisan dengan magnetit.

2. Aktivasi Karbon

a) Aktivasi Fisika

Aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara menimbang sebanyak 200 gram karbon yang telah diayak kemudian ditanur pada suhu 700 °C selama 1 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator hingga suhunya stabil (Khuluk, 2016) lalu dipisahkan abu yang terbentuk dari karbon aktifnya sehingga diperoleh karbon aktif fisika (CAF).

b) Aktivasi Fisika-Kimia

Karbon aktif hasil aktivasi fisika ditimbang sebanyak 50 gram lalu direndam dalam 100 mL larutan H₃PO₄ 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 (Khuluk, 2016) sehingga diperoleh karbon aktif fisika-kimia (CAFK).

3. Sintesis Magnetit (Fe₃O₄)

Sebanyak 7,6 gram FeCl₃·6H₂O dan 3,9 gram FeSO₄·7H₂O dilarutkan dalam 600 mL akuades. Selanjutnya larutan garam besi tersebut diaduk dengan alat pengaduk magnet sambil dipanaskan sampai 70 °C hingga homogen. Setelah itu, 100 mL larutan NaOH 5 M ditambahkan tetes demi tetes sampai terbentuk endapan hitam. Kemudian endapan hitam tersebut dicuci dengan akuades lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu 100 °C selama kurang lebih 3 jam (Oliviera *et al.*, 2002)

4. Pembuatan Karbon Aktif Magnetit

Sintesis karbon aktif magnetit dibuat dengan perbandingan karbon aktif dan garam besi 2:1, yaitu sebanyak 6,5 gram CAF dimasukkan ke dalam 300 mL akuades lalu dipanaskan sampai suhu 70 °C. Selanjutnya ke dalam campuran tersebut dimasukkan garam besi yang terdiri atas 7,6 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 3,9 gram $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang telah dilarutkan dalam 300 mL akuades.

Kemudian campuran tersebut diaduk dengan alat pengaduk magnet selama 30 menit sambil ditetaskan 100 mL larutan NaOH 5 M sampai terbentuk endapan hitam. Endapan hitam tersebut dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dalam oven 100 °C selama kurang lebih 3 jam, sehingga diperoleh karbon aktif fisika magnetit (CAF_M). Hal yang sama pun dilakukan pada CAFK sehingga diperoleh karbon aktif fisika-kimia magnetit (CAF_{KM}) (Oliviera *et al.*, 2002).

5. Karakterisasi Karbon Aktif

Karbon aktif yang dihasilkan baik karbon aktif dari hasil aktivasi fisika maupun aktivasi fisika-kimia serta karbon aktif yang telah dilapisi magnetit dikarakterisasi dengan XRD untuk mengetahui tingkat kekristalan karbon aktif yang telah dilapisi oleh magnetit, SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaannya dan komposisi serta kadar unsur dalam sampel, dan BET untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran partikel sampel serta untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi-desorpsi.

6. Penentuan *Potential of Zero Charge* (PZC)

Potential of Zero Charge (PZC) diukur untuk mempelajari pengaruh pH pada muatan permukaan adsorben, dimana permukaan adsorben bermuatan nol yang menunjukkan muatan zeta potensial. Prosedur penentuan PZC ini dapat dilakukan dengan menimbang karbon aktif sebanyak 0,1 gram lalu dimasukkan ke dalam 20 mL larutan NaNO_3 0,1 M. pH awal dari filtrat dapat diatur dengan menggunakan larutan standar HCl atau NaOH dengan rentang pH 4-10. Selanjutnya larutan diaduk dengan alat pengaduk magnet selama 24 jam dan pH akhir dapat diamati dengan menggunakan pH meter.

7. Uji Adsorpsi

a) Pembuatan Larutan Ion Logam Pb(II) 1000 mg L⁻¹

Sebanyak 1,6 gram $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dimasukkan dalam labu takar 1000 mL, kemudian ditambah akuades hingga tanda terra dan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan ion logam Pb(II) 1000 mg L⁻¹.

b) Penentuan Dosis Optimum Adsorben

Sebanyak 25 mL larutan ion logam Pb(II) 100 mg L⁻¹ dimasukkan ke dalam 5 erlenmeyer berbeda lalu ditambahkan adsorben dengan variasi dosis 100, 200, 400, 600, dan 800 mg karbon aktif kemudian diaduk menggunakan pengaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu larutan dipisahkan

dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan SSA untuk mengetahui kadar logam dalam filtrat.

c) Penentuan pH Optimum

Larutan ion logam Pb(II) 100 mg L^{-1} dibuat pada variasi pH 3,4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Penurunan pH dilakukan dengan penambahan HCL 0,1 M dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 M. Kemudian masing-masing larutan 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. Sebanyak 25 mL larutan ion logam Pb(II) dari masing-masing pH dimasukkan ke dalam 7 erlenmeyer. Lalu ditambahkan adsorben dengan dosis optimum, kemudian larutan diaduk menggunakan alat pengaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan SSA untuk mengetahui kadar logam dalam filtrat.

d) Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 25 mL larutan ion logam Pb(II) 100 mg L^{-1} pada kondisi pH optimum dimasukkan ke dalam 6 erlenmeyer lalu ditambahkan adsorben dengan dosis optimum kemudian diaduk menggunakan alat pengaduk dengan variasi waktu yaitu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh

kemudian dianalisis menggunakan SSA untuk mengetahui kadar logam dalam filtrat.

e) Penentuan Konsentrasi Logam Optimum

Sebanyak 25 mL larutan ion logam Pb(II) pada kondisi pH optimum dengan variasi konsentrasi, yaitu 0, 25, 50, 100, 200, 300 mg L⁻¹ masing-masing dimasukkan ke dalam 6 erlenmeyer lalu ditambahkan adsorben dengan dosis optimum. Kemudian diaduk menggunakan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan SSA untuk mengetahui kadar logam dalam filtrat.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

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

1. Modifikasi karbon aktif dengan pelapisan magnetit (Fe_3O_4) telah berhasil dilakukan yang ditandai dengan munculnya puncak intensitas pada 2θ sebesar 18, 30, 35, 37, 43, 53, dan 56° yang sesuai dengan difraktogram sinar-x magnetit pada hasil karakterisasi menggunakan XRD untuk adsorben CAFM dan CAFKM. Selain itu, munculnya puncak Fe pada hasil karakterisasi EDX untuk adsorben CAFM dan CAFKM yang menunjukkan bahwa adsorben tersebut telah mengandung besi yang berasal dari proses pelapisan magnetit dengan menggunakan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.
2. Adsorpsi ion Pb(II) oleh adsorben CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM dari variasi yang dilakukan yaitu optimum pada dosis adsorben 100 mg, pH 6, waktu kontak 120 menit, dan pada konsentrasi 300 mg/L.
3. Isoterm adsorpsi larutan ion Pb(II) oleh CAF, CAFK, CAFM, dan CAFKM cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi mendekati 1.

B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji adsorpsi pada karbon aktif tempurung kelapa sawit terhadap ion logam lain.
2. Melakukan studi lebih lanjut terhadap uji adsorpsi pada karbon aktif terhadap adsorbat campuran logam berat dan zat warna melalui metode simultan dan sekuensial sehingga dapat diaplikasikan ke lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A.W. 1990. *Physical Chemistry of Surface*. 5th edition. John Willey and Sons. New York.
- Alberty, R. A. and F. Daniel. 1987. *Physical Chemistry*. 5th edition. John Willey and Sons. New York.
- Allport, H. B. 1997. *Activated Carbon*. Encyclopedia of Science and Technology. Mc Graw Hill Book Company. New York.
- Anderson, R. 1991. *Sample Pretreatment and Separation, Analytical Chemistry by Open Learning*. John Willey and Sons. New York.
- Arfan, Y. 2006. Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol Serta Uji Kinerjanya. *Skripsi*. Departemen Teknik Kimia FT-UI. Depok.
- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisik Edisi Ke-2*. Penerjemah Indarto Purnomo Wahyu. Erlangga. Jakarta.
- Austin, G. T. 1996. *Industri Proses Kimia*. Erlangga. Jakarta.
- Bansal, C. R., J. B. Donnet, and F. Stoecli. 1988. *Active Carbon*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Budiono, A., Suhartana, dan Gunawan. 2009. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Posfat untuk Adsorpsi Fenol. *E-Journal Universitas Diponegoro*. 55:1-12.
- Buhani, D. Herasari, Suharso, and S. Dwi 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, Narsito, Nuryono, and E. S. Kunarti. 2009. Amino and Mercaptosilica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesia Journal of Chemistry*. 9(2):170-176.

- Buhani, Narsito, Nuryono, E. S. Kunarti, and Suharso. 2015. Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*. 55(5):1240-1252.
- Buhani and Suharso. 2006. 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*. 8(3):177-183.
- 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, 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(1-3):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.
- Connel, D.W. and G.J. Miller. 1995. *Kimiadan Etoksikologi Pencemaran*, diterjemahkan oleh Koestoer, S. Indonesia University Press. Jakarta. hlm. 419
- Dabrowski, A., P. Podkoscielny, Z. Hubicki, and M. Barczak. 2005. Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon. *Chemosphere*. 58(8):1049-1070.
- Darmawan, S., Pari G., dan Sofyan K. 2009. Optimasi Suhu dan Lama Aktivasi dengan Asam Phospat dalam Produksi Arang Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. Bogor. 2(2):51-56.
- Dreisbach, R. H. dan Robertson, W. O. 1994. *Handbook of Poisoning Prevention, Diagnosis and Treatment*. United State of America. Prentice-Hall International, Inc.

- Endah, T., Buhani, Suharso. 2016. Immobilization Cocodust Biomass with Silica Gel as Adsorbent for Cd(II) and Pb(II) Ions in Solution. *Proceedings of the 2015 IConSSE*. ISBN: 978-602-1047-217. p. 56.
- Elliott, H.A., Liberati, M.R., and Huang, C.P. 1986. Competitive Adsorption of Heavy Metals by Soils. *Journal of Environmental Quality*. 15(3):214-219.
- 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 Fe₃O₄@SiO₂ 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.
- Fardiaz, R. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius. Yogyakarta.
- Gabriel, J. F. 1993. *Fisika Lingkungan*. Penerbit Hipokrates. Jakarta.
- Gong J, Wang B, Zeng G, Yang C, Niu C, Niu Q, Zhou W, dan Liang Y. 2009. Removal of Cationic Dyes from Aqueous Solution Using Magnetic Multi-Wall Carbon Nanotube Nanocomposite as Adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*. 164:1517-1522.
- Ghozali, A. I., W. Sugiyo, dan L. Latifah. 2012. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Red Menggunakan Katalis α -Fe₂O₃/Fe₃O₄ Core Shell Nanostruktur. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 1(1):79-84.
- Hartanto, S. dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains dan Materi Indonesia*. 12(1):12-16.
- Hendra, D. 2006. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Serbuk Kayu Gergajian Campuran. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 24(2):117-132.
- Ho, Y. S. and G. Mc Kay. 1998. *Process Biochemistry 34: Pseudo Second Order Model for Sorption Process*. Harpel College Publisher. New York.
- 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. 4(1):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.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Penerjemah A. Saptohardjo. UI Press. Jakarta.
- Khuluk, Rifki Husnul. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Kirk, R. E. and D. F. Othmer. 1992. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd Edition. Interscience Publishing Incorporated. New York.
- Koestoer, Y. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Terjemahan dari Chemistry and Ecotoxicology of Pollution oleh D. W. Connel. UI Press. Jakarta.
- Kroschwitz, J. I. 1990. *Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. John Wiley and Sons. New York.
- Kusnoputranto, H. 2006. *Toksikologi Lingkungan, Logam Toksik, dan Berbahaya*. FKM-UI Press dan Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan. Jakarta.
- Larry, D. H. 2001. *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy in Handbook of Analytical Methods for Materials*. Materials Evaluation and Engineering, Inc. Pp. 13-14.
- Lodeiro P., R. Herrero and S.M.E. Vicente. 2006. The use of protonated Sargassum Multicum as biosorbent to eliminate Cadmium in fixed-bed coloumn. *Journal of Hazardous Materials*. 137(1): 244-253.
- 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.
- Lyer, A., K. Mody, and B. Jha. 2005. Biosorption of Heavy Metals by A Marine Bacterium. *Marine Pollution*. 50(3):175-179.
- Marsh, H. and R. R. Francisco. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science and Technology Books. Ukraina.
- 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.

- Mohan, Dinesh, A. Sarswat, V. K. Singh, M. Alexander F., and Charles U. P Jr. 2011. Development of Magnetic Activated Carbon from Almond Shells for Trinitrophenol Removal from Water. *Chemical Engineering Journal*. 172(2011):1111-1125.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. ITB Pr. Bandung.
- Oliviera LCA, Rios RVRA, Fabris JD, Garg V, Sapag K, Lago RM. 2002. Activated Carbon/Iron Oxide Magnetic Composites for The Absorption of Contaminants in Water. *Carbon*. 40:2177-2183.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Ellis Horwood Limited. England.
- Oxtoby, D. W. 2004. *Prinsip-prinsip Kimia Modern Jilid I*. Erlangga. Jakarta.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta. hlm 10, 61-67, 116-131.
- Pari, G., D. Hendra, dan R. A. Pasaribu. 2008. Peningkatan Mutu Arang Aktif Kulit Kayu Mangium. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 26(3):1-26.
- Patnaik, P. 2003. *Hand Book of Inorganic Chemicals*. Mc Gaw-Hill Companies. New York.
- Prabowo, A. L. 2009. Pembuatan Karbon Aktif Dari Tongkol Jagung Serta Aplikasinya Untuk Adsorpsi Cu, Pb, dan Amonia. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Purwaningsih, D. 2009. Adsorpsi Multi Logam Ag(I), Pb(II), Cr(II), Cu(II) dan Ni(II) pada Hibrida Etilendiamino-Silika dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Penelitian Sainstek*. 14(1):59-76.
- 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.
- Rasmawan. 2009. *Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit untuk Pakan Ternak Sapi*. Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- Ratnasari, Dina. 2009. *Makalah X-Ray Diffraction (XRD)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Ravikumar, C., S. Kumar and R. Bandyopadhyaya. 2012. Aggregation of Dextran Coated Magnetic Nanoparticles in Aqueous Medium: Experiment and Monte Carlo Simulation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*. 403:1-6.

- Rousseau, R. W. 1987. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley and Sons Inc. United States of America. P.67.
- 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 Coprecipitation with Aluminium Hydroxide and Sodium Dodecyl Sulfate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2(1):752-758.
- Sandi, A. P. dan Astuti. 2014. Pengaruh Wwaktu Aktivasi Menggunakan H₃PO₄ Terhadap Struktur dan Ukuran Pori Karbon Berbasis Arang Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*). *Jurnal Fisika Unand*. 3(2):115-120.
- Sasongko, A. 2002. Studi Adsorpsi Ion Logam Kadmim (Cd) pada Biomassa Alga *Chkorella sp* yang Terimobilisasi Silika Gel. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Sembiring, Zipora, Buhani, Suharso, and Sumadi. 2009. The Isothermic Adsorption of Pb(II), Cu(II), and Cd(II) Ions on *Nannochloropsis sp* Encapsulated By Silica Aquagel. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(1):1-5.
- 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, Henny. 2008. *Pengolahan Limbah Batik dengan Proses Kimia dan Adsorpsi Karbon Aktif*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Shriver, D.F. and Langford, C. 1990. *Inorganic Chemistry*. Oxford. New York.
- Slamet, A. 2007. *Analisis Emisi pada Kendaraan dengan Sistem Injeksi*. Erlangga. Jakarta.
- 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.
- Suhendrayatna. 2001. *Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: suatu Kajian Kepustakaan*. Seminar On-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21. Pp. 1-9.
- Sukir. 2008. *Pembuatan dan Karakteristik Karbon Aktif dari Sekam Padi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

- Sunarya, Y. 2007. *Kimia Umum*. Gafisindo. Bandung.
- Suzuki, M. 1990. *Adsorption Engineering*. Elsevier. Tokyo.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Terjemahan L. Setiono dan A. H. Pudjaatmaka. PT Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Svehla, G. 1994. *Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- 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. P. 31.
- Teja, Aryn S., and P. Y. Koh. 2008. Synthesis, Properties, and Application of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 20:1-24.
- Underwood, E. J. and N. F. Shuttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. CABI Publishing. Third ed. London. England. 16(1):47-48.
- Vaiano, V., O. Sacco, D. Sannino, and P. Ciambelli. 2015. Nanostructured N-doped 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.
- Weber, Jr. W. J. 1977. *Physicochemical Process for Water Quality Control*. John Wiley Interscience. New York. P. 640.
- 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.
- 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.
- 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.