



BIOADSORBEN DAN APLIKASINYA

Prof. Dr.Ir. La Ifa, S.T., M.T., IPM. ASEAN ENG.

Dr.Ir. Nurdjannah, S.T., M.T., IPM. ASEAN ENG.

Dr.Ir. Takdir Syarif, S.T., M.T., IPM.

Ir. Darnengsih, S.T, M.T., IPP.



BIOADSORBEN DAN APLIKASINYA

UU No 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

BIOADSORBEN DAN APLIKASINYA

- Dr. Ir. LA IFA, S.T., M.T., IPM, ASEAN ENG.
- Dr. Ir. NURDJANNAH, S.T., M.T., IPM, ASEAN ENG.
- Dr. Ir. TAKDIR SYARIF, S.T., M.T., IPM
- Ir. DARNENGSIH, S.T., M.T., IPP



YAYASAN PENDIDIKAN
CENDEKIA MUSLIM

BIOADSORBEN DAN APLIKASINYA

Dr. Ir. LA IFA, S.T., M.T., IPM, ASEAN ENG., dkk.

Editor:

Novia Mayang Pratama

Desainer:

Mifta Ardila

Sumber:

www.cendekiamuslim.com

Penata Letak:

Novia Mayang Pratama

Proofreader :

Tim YPCM

Ukuran:

xxiv, 251 hlm., 15,5x23 cm

ISBN:

978-623-6481-71-4

Cetakan Pertama:

Oktober 2021

Hak Cipta 2021, pada

Dr. Ir. LA IFA, S.T., M.T., IPM, ASEAN ENG., dkk.

Isi di luar tanggung jawab penerbitan dan percetakan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Anggota IKAPI: 027/SBA/2021

YAYASAN PENDIDIKAN CENDEKIA MUSLIM

Perumahan Gardena Maisa 2, Blok C.09, Koto Baru, Kecamatan Kubung,
Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat – Indonesia 27361

HP/WA: 0823-9205-6884

Website: www.cendekiamuslim.com

E-mail: cendekiamuslimpress@gmail.com

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
SINGKATAN, SIMBOL, DAN NOMENKLATUR.....	xvii
PRAKATA	xxiii

BAB 1	ASORPSI	1
1.1	Pengertian Adsorpsi	1
1.2	Tahapan-tahapan Adsorpsi	5
1.3	Jenis-Jenis Adsorpsi	6
1.4	Kesetimbangan Adsorpsi	9
1.5	Model Adsorpsi	9
1.6	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	16
1.7	Sifat Umum Adsorpsi	22
1.8	Mekanisme Adsorpsi	24
	DAFTAR PUSTAKA	25
BAB 2	ADSORBEN DAN ADSORBAT	29
2.1	Adsorben	29
2.1.1	Karbon Aktif	30
2.1.2	Zeolit	44
2.1.3	Silika Gel	48
2.1.3.1	Kimia Permukaan Silika: Kelompok Silanol	51
2.1.3.2	Modifikasi Kimia Silika	52
2.1.4	Bentonit	56
2.1.4.1	Komposisi dan sifat-sifat bentonit	60
2.1.5	Sabut Kelapa	66
2.1.6	Kitosan	70
2.1.6.1	Struktur Dan Kejadian Kitin Dan Kitosan	71
2.2	Adsorbat	81
2.2.1	Crude Palm Oil (CPO)	81

2.2.2	Logam Berat	95
2.2.2.1	Logam Pb	102
2.2.2.2	Logam Tembaga	107
	DAFTAR PUSTAKA	116
BAB 3	PEMBUATAN ADSORBEN	155
3.1	Tahapan Pembentukan Arang Dari Kayu	155
3.2	Pembuatan KA dari biomassa	153
3.3	Proses aktivasi	160
3.4	Pembuatan Karbon Aktif	163
3.4.1	Teknologi Konversi Biomassa	166
3.4.2	Prolisis Biomassa	166
3.5	Pembuatan Adsorben Zeolit Sintesis	174
3.5.1	Metode Latourette	174
3.5.2	Metode Plank	174
3.5.3	Pengubahan ke H-Zeolit	176
3.5.4	Impregnasi	177
3.5.5	Proses Perengkahan Katalitik	178
	DAFTAR PUSTAKA	180
BAB 4	APLIKASI ADSORBEN	191
4.1	Analisa Performa Bentonit Terhadap Kualitas Warna, Asam Lemak Bebas, dan Karoten pada Pemurnian Crude Palm Oil: Pengaruh Konsentrasi Bentonit dan Waktu Kontak	191
4.1.1	Metode penelitian	191
4.1.1.1	Bahan Penelitian	191
4.1.1.2	Alat Penelitian	192
4.1.1.3	Prosedur Penelitian	193
4.1.2	Hasil dan Pembahasan	198

4.1.2.1	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Warna CPO	200
4.1.2.2	Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Warna CPO	202
4.1.2.3	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Nilai Karoten CPO	204
4.1.2.4	Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Nilai Karoten	206
4.1.2.5	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kadar FFA	208
4.1.2.6	Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Kadar FFA	210
	DAFTAR PUSTAKA	214
4.2	Aplikasi Adsorben Sabut Kelapa Pada Penurunan Logam Pb Air Limbah Industri	220
4.2.1	Rangkaian Alat Proses Adsorpsi	220
4.2.1.1	Bahan Penelitian	220
4.2.1.2	Pembuatan Adsorben Sabut Kelapa	221
4.2.1.3	Uji Pendahuluan Terhadap Zat Warna <i>Methylene blue</i>	221
4.2.1.4	Penentuan pH optimum Bioadsorben secara AAS	222
4.2.1.5	Penentuan waktu optimum Bioadsorben secara AAS	222
4.2.2	Hasil dan pembahasan	224
4.2.2.1	Pengaruh pH terhadap Konsentrasi Pb(II) dengan waktu kontak 3 jam	225
4.2.2.2	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Konsentrasi Pb(II) pada pH 7.	228
4.3	Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi	235
4.3.1	Pembuatan Kitosan	235
4.3.2	Hasil dan Pembahasan	236
4.3.2.1	Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan	236

4.3.2.2	Performa Kitosan pada Penurunan Kadar Cu(II) dalam Air Lindi	240
	DAFTAR PUSTAKA	244
BIOGRAFI PENULIS		245

DAFTAR TABEL

Tabel	1.1	Contoh Proses Adsorpsi Komersial dan Sorben yang Digunakan	3
Tabel	1.2	Perbandingan Antara Adsorpsi Fisika Dan Kimia	8
Tabel	2.1	Adsorben Dari Berbagai Sumber Yang Dilaporkan Beberapa Literatur	32
Tabel	2.2	Analisis Proksimat dan Ultimate, Luas Permukaan BET, Total Pori dan Volume Mikro dari Bio-char yang Dihasilkan dari Cangkang Kelapa Sawit	42
Tabel	2.3	Analisis Proksimat dan Ultimate, Luas Permukaan BET, Total Pori dan Volume Mikro dari Bio-char yang Dihasilkan dari Kayu Pinus	43
Tabel	2.4	Analisis Proksimat, Luas Permukaan BET, Bilangan iodin, <i>Methylene blue</i> number dan Bulk density dari Adsorben Karbon Aktif Serbuk Gergaji Kayu Karet	44
Tabel	2.5	Sifat Kimia Dan Fisik Zeoli	48
Tabel	2.6	Sifat Kimia dan Fisika Montmorillonit (Bentonit), Tanah Liat Teraktivasi dan Bentonit Tanpa Perlakuan, dalam Bentuk Oksidanya	62
Tabel	2.7	Karakterisasi Serat Sabut Kelapa	68
Tabel	2.8	Karakterisasi CAAC dan CAC (Chaudhuri & Saminal, 2011) dan proximate CAAC _{KOH}	69
Tabel	2.9	Karakteristik Komponen Utama Biomassa Padat Pabrik Kelapa Sawit	85

Tabel	2.10	Karakteristik Komponen Utama Biomassa Padat Pabrik Kelapa Sawit	86
Tabel	2.11	Karakteristik Komponen Utama Biomassa Padat Cangkang Kelapa Sawit	86
Tabel	2.12	Komposisi Asam Lemak Palm Olein, CPO dan Sifat Fisika dari CPO	92
Tabel	2.13	Efisiensi Penyisihan dan Kapasitas Adsorpsi Untuk Menghilangkan FFA, Karoten CPO Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben Dilaporkan dalam Literatur	93
Tabel	2.14	Efisiensi Penyisihan Dan Kapasitas Adsorpsi Untuk Menghilangkan Timbal (Pb) Menggunakan Berbagai Jenis Biomassa Limbah Pertanian Dilaporkan dalam Literature	105
Tabel	2.15	Kapasitas Adsorpsi Logam Cu Untuk Berbagai Jenis Biomassa Limbah Dilaporkan dalam Literatur	109
Tabel	3.1	Proses Termokimia, Reaksi, Waktu Tinggal Dan Produk Utama (Dimodifikasi) Pirolisis	171
Tabel	4.1.1	Karakterisasi Bahan Baku CPO	199
Tabel	4.1.2	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Warna CPO Menggunakan Bentonit 3%	200
Tabel	4.1.3	Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Warna Keempat Sampel CPO dengan Waktu Kontak Selama 30 Menit	202
Tabel	4.1.4	Pengaruh Waktu Kontak terhadap Nilaikaroten CPO Menggunakan Bentonit 3%	204
Tabel	4.1.5	Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Nilai Karoten CPO pada Waktu Kontakselama 30 Menit	206
Tabel	4.1.6	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penurunan Konsetrasi FFA CPO Menggunakan Bentonit 3%	209
Tabel	4.1.7	Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Konsetrasi FFA CPO dengan Kontak Selama 30 Menit	212

Tabel	4.3.1	Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan Peneliti Terdahulu	238
Tabel	4.3.2	Data Karakteristik Cu(II) dalam Air Lindi Setelah Penambahan Larutan Kitosan	240

DAFTAR GAMBAR

Skema	1.1	Mekanisme Reaksi Antara Adsorbat dan Adsorben.	3
Gambar	1.1	Proses Adsorpsi	3
Gambar	1.2	Tahapan-Tahapan Proses Adsorpsi	5
Gambar	2.1	Arang Aktif	31
Gambar	2.2a	SEM Carbon Aktif Pembesaran 500-1000 Kali	41
Gambar	2.2b	SEM Carbon Aktif Pembesaran 500-1000 Kali	41
Gambar	2.3	Struktur Kerangka Saluran dan Dimensi Saluran (dengan 10 cincin) ZSM-5 (MFI) Dibandingkan dengan Struktur Sangkar dan Dimensi Jendela	45
Gambar	2.4	Tiga Tipe Dasar Gugus Silanol (Hidroksil) Pada Silika	52
Gambar	2.5	Mikrofotograf SEM Bentonit	58
Gambar	2.6	Skema Diagram Studi Scale-Up Bentonit	64
Gambar	2.7	Sabut Kelapa	68
Gambar	2.8	SEM Karbon Aktif Sabut Kelapa (CCAC) dan Karbon Aktif Komersial(CAC)	69
Gambar	2.9	Struktur Kitin	75
Gambar	2.10	Struktur Kitosan	75
Gambar	2.11	Konversi Citin ke Citosan Proses Deasetilasi	76
Gambar	2.12	Grafik Negara Produsen Minyak	83

		Sawit Tahun 2018	
Gambar	2.13	Proses Penggilingan Kelapa Sawit dan Aliran Limbah yang Timbul	95
Gambar	3.1	Diagram Alir Preparasi Karbon Aktif dengan Aktivasi Fisik dan Kimia	163
Gambar	3.2	Konversi Termokimia Biomassa Menjadi Biooil, Biochar dan Gas	170
Gambar	3.3	Ikhtisar Produksi an Aplikasi Biochar	170
Gambar	3.4	Rangkaian Alat Pyrolysis	172
Gambar	3.5	Diagram Alir Penelitian	173
Gambar	3.6	Prosedur Sintesa Na-Zeolit	176
Gambar	3.7	Prosedur Pengubahan Na-zeolit Menjadi H-zeolit dengan Pertukaran Ion	177
Gambar	3.8	Diagram Alir Prosedur Impregnasi	178
Gambar	3.9	Rangkaian Alat Proses Perengkahan Minyak Nabati	179
Gambar	4.1	Rangkaian Peralatan pada Proses Destilasi	192
Gambar	4.2.1	Rangkaian Alat Proses Adsorpsi	220
Gambar	4.2.2	Diagram Alir Pembuatan Adsorben	223
Gambar	4.2.3	Diagram Alir Penentuan Daya Jerap Adsorben Terhadap Logam Pb(II)	224
Gambar	4.2.4	Hubungan pH Terhadap Konsentrasi Pb(II) dengan Waktu Kontak 3 Jam	226
Gambar	4.2.5	Hubungan Waktu Kontak	229

Terhadap Konsentrasi Pb(II)
dalam Sampel Air limbah pada
pH 7 (pH optimum)

Gambar 4.3.1 Hasil Uji FTIR

237

SINGKATAN, SIMBOL, DAN NOMENKLATUR

Singkatan

AAS	:	Atomic Absorption Spektrofotometer
AOCS	:	American Oil Chemists' Society
BDPO	:	bleached deodorized palm oil
BE	:	bleaching earth
BL	:	Biomassa lignoselulosa
CCAC	:	Coconut coir activated carbon
CAC	:	Commercial activated carbon
2-CPh	:	2-chloro- phenol
CPO	:	Crude Palm Oil
2,4-D	:	2,4-dichlorophenoxyacetic acid
DOBI	:	deterioration of bleachability index
DPO	:	degummed palm oil.
EPA	:	Environmental Protection Agency
FFA	:	Free fatty acid
ha	:	hektar
HHV	:	Higher heating value
KA	:	Karbon Aktif
LOI	:	Loss on Ignition.
MCM- 48/	:	mesoporous silica material dan 3-
TMSPA	:	(trimethoxysilyl)propyl amine
PKO	:	Palm Kernel Oil
PORIM	:	Palm Oil Research Institute of Malaysia
RBDPO	:	refined bleached deodorized palm oil
SEM	:	mikroskop elektron scanning
TKKS	:	Tandan kosong kelapa sawi
XRF	:	X-ray fluorescence spectroscopy

Simbol

$\text{\AA}$	: Diameter pori
$A(g)$	: adsorbat yang berupa gas
AS	: molekul teradsorpsi dari A atau situs terisi pada permukaan
b,K	: konstanta Langmuir
C	: parameter adsorpsi isothermis model BET
C	: konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi (mg/l)
C_o	: konsentrasi adsorbat (mg/L) dalam larutan sebelum penjerapan
C_e	: konsentrasi adsorbat (mg/L) dalam larutan setelah penjerapan
D_a	: Koefisien difusi
g	: gram
K	: ketetapan kesetimbangan adsorpsi
k,n	: konstanta Freundlich
L	: maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan model BET
m	: massa adsorben yang digunakan pada penelitian
m	: massa zat teradsorpsi tiap satuan massa adsorben (mg/g)
mg	: miligram
mL	: mililiter
q_e	: Kapasitas penjerapan
P	: tekanan gas saat teradsorpsi
P_s	: tekanan jenuh adsorbat gas hingga mencapai kapasitas maksimum adsorpsi
$\%R$	: Efisiensi Penghilangan
S	: situs kosong pada permukaan
V	: volume dari larutan

- ω : jumlah mol gas teradsorpsi persatuan unit massa adsorben
- X_{AS} : fraksi mol dari situs terisi pada permukaan,
- X_s : fraksi mol dari situs kosong pada permukaan dan p adalah tekanan gas
- XRD : X-ray diffraction

Nomenklatur

- Absorben : Bahan yang mengambil dan menahan cairan yang didistribusikan ke seluruh struktur molekulnya yang menyebabkan padatan membengkak (50% atau lebih). Penyerap setidaknya 70% tidak larut dalam cairan berlebih
- Absorpsi : Dalam penyerapan, molekul suatu zat terdistribusi secara merata di sebagian besar yang lain
- Adsorben : Zat yang permukaannya terjadi adsorpsi dikenal sebagai adsorben
- Adsorpsi : Dalam adsorpsi molekul satu zat hadir dalam konsentrasi yang lebih tinggi di permukaan zat lain
- Aktivasi karbon : Proses menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang sehingga meningkatkan porositas arang
- Bahan nabati : Produk sampingan pertanian dan limbah hutan, yang memiliki afinitas tinggi untuk menghilangkan ion logam
- Bilangan silanol : Kepadatan gugus OH di permukaan
- Bioadsorpsi : Salah satu proses efisien yang tersedia untuk menghilangkan logam berat pada konsentrasi rendah dan bahan yang murah, pemulihan logam yang cepat dan regenerasi bioadsorben

Biochar	: Arang yang terbuat dari bahan kaya karbon (biomassa).
Biomassa	: Sumber energi alternatif ramah lingkungan yang menjanjikan dalam konteks skenario energi saat ini
Biomassa lignoselulosa	: Biomassa yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin
Bio-sorpsi	: Teknik yang menjanjikan untuk adsorpsi logam berat dari lingkungan berair, terutama ketika adsorben berasal dari sumber biologis: lignoselulosa bahan karbon, sumber daya alam dan limbah pertanian
Coconut coir activated carbon	: Karbon aktif sabut kelapa
Commercial activated carbon	: Adsorben umum yang dapat digunakan untuk menghilangkan berbagai spesies dari campuran fase gas dan larutan berair.
Crude Palm Oil	: Minyak nabati yang berasal dari minyak sawit yang mengandung senyawa trigliserida atau triacylglycerol partikel padat dengan kandungan lipase, FFA, pigmen, fosfatida, gliserida, pewarna dan karoten
Dehidrasi	: Proses penghilangan air
Derajat deasetilasi	: Kemampuan kitosan untuk membentuk interaksi isoelektrik dengan molekul lain
Environmental Protection Agency	: Badan perlindungan lingkungan,
Free fatty acid	: Senyawa alifatik monobasa alami yang terdiri dari rantai hidrokarbon dan gugus karboksilat
Hemiselulosa	: Polimer bercabang yang terdiri dari gula seperti pentosa dan heksosa
Kapasitas adsorpsi	: Kemampuan daya serap adsorben terhadap zat yang akan diserap.

Karbon Aktif	: Bahan dengan porositas tinggi, luas permukaan tinggi yang diproduksi melalui karbonisasi dan aktivasi bahan yang mengandung karbon.
Karbonisasi	: Proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon, serta mengeluarkan senyawa-senyawa non karbon
Kitin	: Polimer dari kelas polisakarida, biopolimer mirip selulosa yang terutama mengandung unit $-(1 \rightarrow 4)-2$ acetamido-2-deoxy-D-glukosa.
Kitosan	: Poli(aminosakarida) yang terutama mengandung unit poli(1 $\rightarrow$ 4)-2 amino-2-deoksi-D-glukosa.
Logam berat	: Unsur logam seperti arsenik (As), tembaga (Cu), kadmium (Cd), krom (Cr), nikel (Ni), seng (Zn), timbal (Pb), merkuri (Hg) dan mangan (Mn) merupakan polutan utama, sifatnya yang beracun dan tidak dapat terurai secara hayati
LOI	: Kehilangan massa pada pembakaran pada 1100°C
Minyak kedelai mentah	: Minyak mentah yang diekspresikan secara fisik dan/atau mekanis dari biji kedelai
Pirolisis	: Dekomposisi termal biomassa yang terjadi tanpa adanya oksigen menjadi beberapa produk bernilai tambah, termasuk biochar, bio-minyak, dan gas
selulosa	: Polimer unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -glikosida
Sorben	: Bahan inert dan tidak larut yang digunakan untuk menghilangkan minyak dan bahan berbahaya dari air melalui adsorpsi.
Zeolit	: Bahan berpori anorganik yang memiliki struktur pori dan ruang yang sangat teratur yang memungkinkan molekul melewatinya dan menyebabkan yang lain

dikeluarkan atau dipecah

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim, dengan mengucapkan syukur kepada Allah Swt., telah dapat disusun buku dengan judul **Bioadsorben dan Aplikasinya** dengan tujuan memudahkan mahasiswa khususnya mahasiswa Teknik Kimia dalam mengikuti dan mempelajari mata kuliah Sumber Daya Alam, Pengolahan Limbah dan Teknologi Material. Disarankan agar mahasiswa dapat juga membaca buku-buku dari sumber yang lain agar lebih luas wawasannya dalam memahami isi dari persoalan.

Buku ini menyajikan dasar-dasar dan data-data publikasi dengan harapan dapat digunakan untuk pengembangan penelitian terkait di masa mendatang. Materi yang disajikan dalam buku ini terdiri dari 4 (empat) Bab, yakni:

1. Adsorpsi
2. Adsorben dan Adsorbat
3. Pembuatan Bioadsorben
4. Aplikasi Adsorben

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan dan penyusunan buku ini. Oleh karena itu, penulis berharap agar ada masukan dan saran guna perbaikan di masa mendatang. Akhirnya kami

mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah memberi bantuan hingga diterbitkannya buku ini. Semoga dapat memberi manfaat bagi semua yang membacanya khususnya bagi penulis.

Makassar, September 2021

Tim Penulis

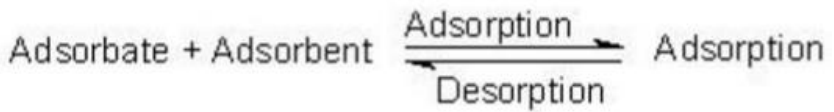
BAB 1 | ADSORPSI

1.1 Pengertian Adsorpsi

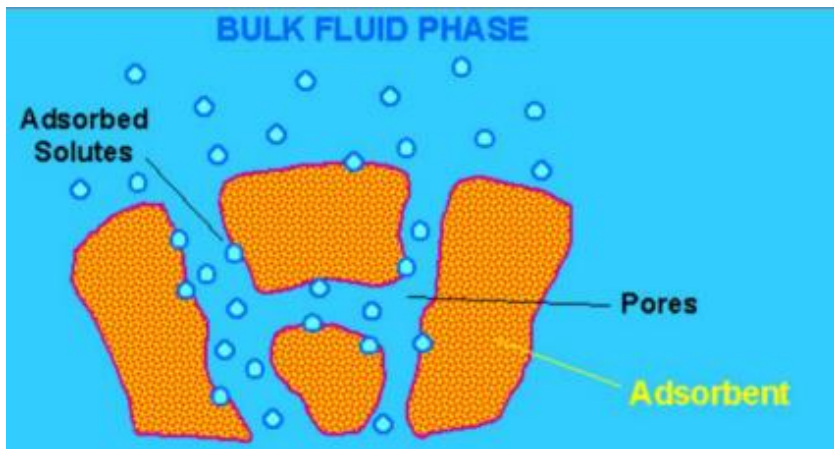
Adsorpsi adalah peristiwa menempelnya molekul, ion, maupun atom pada permukaan. Adsorpsi merupakan peristiwa penjerapan bahan dari komponen suatu fluida, cairan maupun gas di daerah antar fase di mana bahan yang akan dipisahkan, terikat di permukaan suatu zat padat. Proses ini membentuk suatu lapisan tipis adsorbat (komponen yang terjerap) fase cair (pelarut) pada permukaan adsorben (zat yang menjerap) fase padat (Igwe & Abia, 2006).

Bahan penjerap berupa zat padat, penjerap hanya pada permukaan zat penjerap. Pada peristiwa adsorpsi, komponen akan berada di daerah antar muka, tetapi tidak masuk kedalam fase. Umumnya adsorben adalah bahan-bahan yang memiliki pori karena berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau letak-letak tertentu di dalam adsorben. Contoh peristiwa adsorpsi yakni penjerapan uap air oleh silika gel. Uap air tidak masuk kedalam silika gel, melainkan hanya dipermukaan sehingga uap air tersebut mudah untuk dilepaskan kembali.

Adsorpsi biasanya dilakukan dalam kolom yang dikemas dengan partikel sorben, atau penjerap unggun tetap. Daya pisah yang tinggi dari kromatografi yang dicapai dalam kolom merupakan keuntungan unik dari adsorpsi dibandingkan dengan proses pemisahan lainnya. Daya pisah yang tinggi disebabkan oleh kontak dan keseimbangan yang terus menerus antara fase fluida dan sorben. Dalam kondisi bebas dari batasan difusi, setiap kontak setara dengan tahap kesetimbangan atau pelat teoritis. Biasanya beberapa ratus hingga beberapa ribu tahap keseimbangan seperti itu dapat dicapai dalam kolom pendek. Dengan demikian, adsorpsi sangat cocok untuk aplikasi pemurnian serta pemisahan yang sulit. Sebagian karena keuntungan unik ini, adsorpsi berada pada posisi yang baik untuk memainkan peran kunci dalam pengembangan banyak energi masa depan dan teknologi lingkungan (Yang, 2003). Mekanisme reaksi antara adsorbat dan adsorben ditunjukkan pada Skema 1.1 dan proses adsorpsi pada Gambar 1.1 (P. Zhang, 2016).



Skema 1.1 Mekanisme Reaksi antara Adsorbat dan Adsorben



Gambar 1.1 Proses Adsorpsi

Pemisahan bulk fase cair yang menggunakan adsorben yang tercantum dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Contoh Proses Adsorpsi Komersial dan Sorben yang Digunakan

Pemisahan	Adsorben
Gas Bulk Separations	
Normal paraffins/isoparaffins, aromatics	zeolit
N ₂ /O ₂	zeolit

O ₂ /N ₂		Carbon molecular sieve
CO, CH ₄ , CO ₂ , N ₂ , Ar, NH ₃ /H ₂		Karbon aktif diikuti oleh zeolit
Hydrocarbons/vent streams		Karbon aktif
H ₂ O/etanol		zeolit
Chromatographic separations	analytical	Wide range of inorganic and polymer resin agents
Gas Purification		
H ₂ O/olefin-containing gas, natural gas, air, synthesis gas, etc	cracked	Silica, alumina, zeolite
CO ₂ /C ₂ H ₄ , natural gas, etc		Zeolite, carbon molecular sieve
Hydrocarbons, organics, solvents/vent streams	halogenated	Activated carbon, silicalite, others
Sulfur compounds, hydrogen, liquefied petroleum gas (LPG), etc.	natural gas,	Zeolite, activated alumina
SO ₂ /vent streams		Zeolite, activated carbon
Odors/air		Silicalite, others
Indoor air pollutants—VOCs		
Tank-vent emissions/air or nitrogen	or	Activated carbon, silicalite
Hg/chlor-alkali cell gas effluent		Zeolit
Liquid Bulk Separations Normal		
Normal paraffins/isoparaffins, aromatics		Zeolite
p-xylene/o-xylene, m-xylene		Zeolite
Detergent-range olefins/paraffins		Zeolite
Fructose/glucose		Zeolite
Chromatographic separations	analytical	Wide range of inorganic and polymer resin agents
Sumber: (Yang, 2003)		

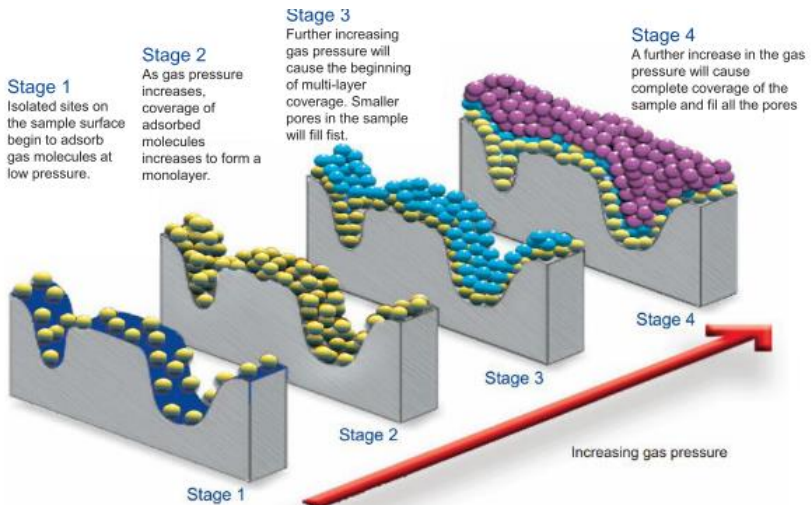
Adsorben : Zat yang permukaannya terjadi adsorpsi dikenal sebagai adsorben. Contoh: arang aktif, silika mesopori.

Adsorbat: Zat yang molekulnya teradsorpsi pada permukaan adsorben (yaitu padat atau cair) dikenal sebagai adsorbat.

Absorpsi: Dalam penyerapan, molekul suatu zat terdistribusi secara merata di sebagian besar yang lain.

Adsorpsi: Dalam adsorpsi molekul satu zat hadir dalam konsentrasi yang lebih tinggi di permukaan zat lain (P. Zhang, 2016).

1.2 Tahapan-Tahapan Adsorpsi



Gambar 1.2 Tahapan-Tahapan Proses Adsorpsi (P. Zhang, 2016)

Tahapan-tahapan proses adsorpsi, sebagai berikut:

1. Situs terisolasi pada permukaan sampel mulai menjerap molekul gas pada tekanan rendah. Saat tekanan gas meningkat, cakupan molekul yang teradsorpsi meningkat untuk membentuk lapisan tunggal.
2. Peningkatan tekanan gas lebih lanjut akan menyebabkan dimulainya cakupan multi-lapisan. Pori-pori yang lebih kecil dalam sampel akan mengisi kepalan.
3. Peningkatan lebih lanjut dalam tekanan gas akan menyebabkan cakupan sampel yang lengkap dan mengisi semua pori-pori.

1.3 Jenis-Jenis Adsorpsi

Pada proses adsorpsi secara umum dikenal dua jenis adsorpsi yaitu (Reynolds & Richards, 1982):

1. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya gaya-gaya kimia dan diikuti oleh reaksi kimia. Pada adsorpsi kimia hanya satu lapisan gaya yang terjadi. Besarnya energi adsorpsi kimia sekitar 100 kJ/mol. Adsorpsi jenis ini menyebabkan terbentuknya ikatan secara kimia, maka adsorpsi jenis ini akan

menghasilkan produksi reaksi berupa senyawa yang baru. Ikatan kimia yang terjadi pada adsorpsi kimia sangat kuat mengikat molekul gas atau cairan dengan permukaan padatan sehingga sangat sulit untuk dilepas kembali. Artinya pelepasan kembali molekul yang terkait di adsorben pada adsorpsi kimia sangat kecil.

2. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya gaya-gaya fisika. Besarnya energi adsorpsi fisika sekitar 10 kJ/mol. Molekul-molekul yang diadsorpsi secara fisika tidak terikat kuat pada permukaan, dan biasanya terjadi proses balik yang cepat, sehingga mudah untuk diganti dengan molekul yang lain.

Adsorpsi fisika didasarkan pada gaya Van Der Waals, dan dapat terjadi pada permukaan yang polar dan nonpolar. Adsorpsi juga mungkin terjadi dengan mekanisme pertukaran ion. Permukaan padatan dapat menjerap ion-ion dari larutan dengan mekanisme pertukaran ion. Karena itu ion pada gugus senyawa permukaan padatan adsorbennya dapat bertukar tempat dengan ion-ion adsorbat. Mekanisme pertukaran ini merupakan penggabungan dari mekanisme adsorpsi kimia dan fisika, karena adsorpsi jenis ini

akan mengikat ion-ion yang dijerap dengan ikatan secara kimia, tetapi ikatan ini mudah dilepas kembali untuk dapat terjadinya pertukaran ion (Barrow, 1962).

Tabel 1.2 Perbandingan antara Adsorpsi Fisika dan Kimia (P. Zhang, 2016)

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya van der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai - 40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai - 800 kJ/mol
Dapat membentuk lapisan multilayer	Membentuk lapisan monolayer
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu dibawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu
Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik
Perubahan entalpi adsorpsi besar	Perubahan entalpi adsorpsi kecil
Reaksi irreversible	Reaksi reversible
Adsorpsi monolayer	Adsorpsi multilayer

1.4 Keseimbangan Adsorpsi

Pada saat fluida yang mengandung adsorbat dikontakkan dengan padatan adsorben, molekul-molekul adsorbat berpindah dari fluida ke padatan sampai konsentrasi adsorbat dialiran fluida berada dalam keadaan setimbang dengan adsorbat yang terjerap dalam padatan adsorben. Data keseimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur adalah konstan dan biasa disebut adsorpsi isotermis, dimana terdapat hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi persatuan massa padatan dan tekanan gas adsorbatnya. Adsorpsi isotermis dapat dihitung dengan mengukur tekanan adsorbat pada saat sebelum terjadi keseimbangan dan pada saat terjadinya keseimbangan. Klasifikasi ukuran pori: pori mikro (< 2 nm), mesopori ($2\sim 50$ nm), pori makro (> 50 nm).

1.5 Model Adsorpsi:

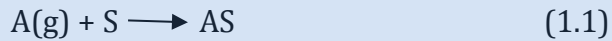
1. Model Adsorpsi Langmuir

Model adsorpsi Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat permukaan adsorben. Isoterm adsorpsi Langmuir dibuat berdasarkan beberapa asumsi yaitu:

- a. Adsorpsi maksimum terjadi saat terbentuk lapisan tunggal yang menyeluruh.
- b. Energi adsorpsi adalah konstan dan tidak tergantung pada sifat permukaan.
- c. Adsorpsi terjadi tanpa disertai interaksi antar molekul-molekul adsorbat.
- d. Adsorbat teradsorpsi pada lokasi tertentu sehingga tidak dapat bergerak pada permukaan padatan dan bersifat irreversible.

Isoterm adsorpsi Langmuir dianggap bahwa hanya sebuah adsorpsi tunggal yang terjadi. Adsorpsi tersebut terlokalisasi, artinya molekul-molekul zat yang hanya dapat dijerap pada tempat-tempat tertentu dan panas adsorpsi tidak tergantung pada permukaan yang tertutup oleh adsorben. Isoterm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menggambarkan adsorpsi kimia (Barrow, 1962).

Proses adsorpsi dapat ditunjukkan dengan persamaan kimia:



Dimana A adalah adsorbat yang berupa gas, S adalah situs kosong pada permukaan, dan AS menunjukkan molekul teradsorpsi dari A atau situs terisi pada permukaan. Persamaan ketetapan, K dapat ditulis:

$$K = \frac{X_{AS}}{X_{s,p}} \quad (1.2)$$

Dimana X_{AS} adalah fraksi mol dari situs terisi pada permukaan, X_s adalah fraksi mol dari situs kosong pada permukaan dan p adalah tekanan gas. Jika X_{AS} dan $X_s = (1 - \theta)$ maka Persamaan (1.2) menjadi :

$$K_p = \frac{\theta}{1-\theta} \quad (1.3)$$

Persamaan 1.3 merupakan isoterm Langmuir (Langmuir, 1918), K adalah ketetapan kesetimbangan adsorpsi. Untuk mencari θ maka Persamaan (1.3) dapat ditulis :

$$\theta = \frac{K_p}{1 + K_p} \quad (1.4)$$

Jika adsorpsi terjadi dalam larutan maka P diganti dengan konsentrasi, C. Sejumlah substansi yang terjepap, sebanding dengan θ maka $m = b \cdot \theta$ dimana b adalah konstanta

$$m = \frac{bK_p}{1+K_p} \quad (1.5)$$

Jika Persamaan (1.5) dibalik maka:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{b} + \frac{1}{bK} \frac{1}{C} \quad (1.6)$$

Dengan membuat plot $1/m$ terhadap $1/C$ maka harga konstanta K dan b dapat dihitung dari slope dan intersep.

Isoterm adsorpsi Freundlich

Persamaan ini diturunkan secara empirik dan berlaku untuk gas yang bertekanan rendah. Isoterm adsorpsi Freundlich menggambarkan adsorpsi jenis multilayer dimana adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat. Asumsi yang digunakan pada isoterm adsorpsi Freundlich adalah:

- a. Tidak ada asosiasi dan disosiasi molekul-molekul adsorbat setelah teradsorpsi pada permukaan padatan.
- b. Hanya berlangsung mekanisme adsorpsi secara fisik tanpa adanya adsorpsi kimia.
- c. Permukaan padat bersifat homogen.

Bentuk persamaan isoterm adsorpsi Freundlich adalah: (Reynolds & Richards, 1982)

$$m = kC^{1/n} \quad (1.7)$$

Jika Persamaan (1.7) dilogaritmakan akan terbentuk :

$$\text{Log } m = \text{log } k + 1/n \text{ log } C$$

Persamaan Freundlich diterapkan pada larutan encer.

Keterangan:

m = massa zat teradsorpsi tiap satuan massa adsorben (mg/g)

C = konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi (mg/L)

b, K = konstanta Langmuir

k, n = konstanta Freundlich

2. Model Adsorpsi Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Isotermal BET merupakan persamaan teoritikal yang banyak diaplikasikan dalam sistem keseimbangan gas-solid. Model ini merupakan lanjutan dari model isotermal Langmuir yang dikembangkan untuk menjelaskan adsorpsi multilayer. Pada lapisan pertama, kecepatan kondensasi adsorpsi dari bagian permukaan adsorben yang kosong sama dengan kecepatan evaporasi (desorpsi) bagian yang tertutupi oleh hanya satu molekul adsorbat. Keseimbangan ini

juga terjadi pada semua lapisan berikutnya. Asumsi penting model isotermal BET adalah bahwa panas adsorpsi diluar lapisan pertama adalah konstan dan sama dengan panas pencairan.

Model persamaan isotermal BET:

$$\frac{\omega}{L} = \frac{CP}{(P_s - P)[1 + (C-1)(\frac{P}{P_s})]} \quad (1.8)$$

Dimana:

- ω = jumlah mol gas teradsorpsi persatuan unit massa adsorben
- L = maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan model BET
- P = tekanan gas saat teradsorpsi
- P_s = tekanan jenuh adsorbat gas hingga mencapai kapasitas maksimum adsorpsi
- C = parameter adsorpsi isotermis model BET

3. Model dinamika adsorpsi dan desorpsi gas dalam material berpori.

Dinamika adsorpsi dan desorpsi merupakan gambaran perubahan banyaknya zat yang teradsorpsi atau terdesorpsi pada suatu adsorben terhadap waktu dari awal terjadinya proses adsorpsi atau desorpsi sampai mencapai kesetimbangan.

Proses adsorpsi dan desorpsi suatu gas pada suatu material berpori dalam selinder penyimpanan dapat terjadi berdasarkan profil tekanan terhadap waktu sebagai berikut:

a. Proses adsorpsi

Pada awal gas dikontakkan dengan partikel adsorban, tekanan gas dalam silinder penyimpanan naik dengan cepat sampai tekanan maksimum. Lalu tekanan mulai menurun yang menandakan mulai terjadi adsorpsi gas pada pori adsorben. Setelah tercapai keadaan setimbang, tekanan gas tidak berubah terhadap waktu.

b. Proses desorpsi

Pada awal gas dilepaskan dari silinder penyimpanan, tekanan gas dalam silinder turun dengan cepat sampai titik minimum. Lalu tekanan mulai naik yang menandakan mulai terjadi proses desorpsi. Setelah tercapai kesetimbangan, tekanan gas tidak berubah terhadap waktu.

Desorpsi adalah proses pelepasan kembali ion/molekul yang telah berikatan dengan gugus aktif pada adsorben (Djaeni, Asiah, & Sasongko, 2013). Salah satu contohnya adalah akibat kecepatan pengadukan melebihi kondisi efektif, maka laju adsorpsi akan menurun, dan ini

kemungkinan disebabkan oleh peningkatan kecenderungan desorpsi molekul minyak dalam kondisi turbulen (Acquah, Sie Yon, Tuah, Ling Ngee, & Danquah, 2016).

1.6

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Beberapa faktor yang mempengaruhi adsorpsi, yakni:

1. Pengadukan (*agitation*)

Peningkatan kecepatan agitasi pada adsorpsi meningkatkan kapasitas adsorpsi dan persentase efisiensi penyisihan adsorbat (Abel, Habor, & Oseribho, 2020) karena interaksi yang lebih baik dengan permukaan selama pencampuran (Acquah *et al.*, 2016).

Pencampuran yang ditingkatkan memberikan fluiditas tinggi dalam lingkungan fase curah untuk meningkatkan interaksi antar molekul adsorben dan adsorbat. Dalam kondisi seperti itu, jumlah interaksi permukaan antara partikel adsorben dan perubahan unit molekul adsorbat misalnya minyak sawit per waktu berlangsung cepat, sehingga lebih banyak molekul minyak sawit yang terpapar ke permukaan adsorben (Acquah *et al.*, 2016). Namun, jika kecepatan pengadukan

melebihi kondisi efektif, laju adsorpsi akan menurun, dan ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan kecenderungan desorpsi molekul minyak dalam kondisi turbulen. Kecenderungan desorpsi ini mungkin disebabkan oleh kecepatan pencampuran yang tinggi yang menyebabkan gaya geser yang lebih tinggi, yang menyebabkan ikatan antara minyak dan adsorben putus (Acquah *et al.*, 2016).

2. Konsentrasi adsorbat awal

Peningkatan konsentrasi adsorbat awal meningkatkan kapasitas adsorpsi tetapi menurunkan % penyisihan adsorbat karena ketersediaan situs aktif pada permukaan adsorben (Abel *et al.*, 2020). Pada konsentrasi logam awal yang lebih rendah, situs adsorpsi yang cukup tersedia untuk penjerapan ion logam. Sebaliknya, jumlah ion logam pada konsentrasi awal yang lebih tinggi relatif lebih banyak dibandingkan dengan tempat adsorpsi yang tersedia. Oleh karena itu, persentase penyisihan logam berat berkorelasi terbalik dengan konsentrasi logam awal (Nadeem, Shabbir, Abdullah, Shah, & McKay, 2009). Haura *et al.* (2017) melaporkan semakin besar konsentrasi awal dari larutan maka semakin besar pula

kapasitas adsorpsi yang dihasilkan.

3. Ukuran partikel adsorben

Pengaruh ukuran partikel pada adsorpsi adsorbat ke adsorben bahwa peningkatan ukuran partikel menyebabkan peningkatan yang sesuai dalam kapasitas adsorpsi dan persentase penyisihan adsorbat (Abel *et al.*, 2020). Penjerapan secara langsung berhubungan dengan luas permukaan yang tersedia; maka adsorben dengan luas permukaan tertinggi telah menggambarkan persentase penghapusan maksimum (Nadeem *et al.*, 2009).

Peningkatan efisiensi karena ukuran partikel menurun, mungkin karena fakta bahwa partikel yang lebih kecil memberikan luas permukaan yang besar. Terkadang, ukuran partikel yang lebih besar dapat menunjukkan efisiensi penghilangan yang lebih tinggi dibandingkan partikel yang lebih kecil jika partikelnya berbentuk bola. Partikel yang lebih besar dengan bentuk bola, secara umum, menyajikan perpindahan massa eksternal yang lebih tinggi daripada ukuran partikel kecil yang karenanya bertanggung jawab untuk efisiensi penghilangan yang lebih tinggi (Leusch & Volesky, 1995).

Luas permukaan adsorben merupakan

parameter penting untuk adsorpsi. Paparan situs adsorben untuk interaksi ion logam padat tinggi jika luas permukaan adsorben tinggi. Semakin kecil ukuran partikel semakin tinggi luas permukaan per satuan berat adsorben dan karenanya diharapkan persentase penyisihan logam yang lebih tinggi (Amarasinghe & Williams, 2007).

4. pH (derajat keasaman)

PH berhubungan dengan muatan permukaan karbon dan derajat ionisasi (Amuda, Edewor, Afolabi, & Hung, 2013). Pengaruh pH dapat dijelaskan dalam hal interaksi elektrostatis yang diprakarsai oleh adsorben. Pada pH yang lebih rendah, muatan permukaan adsorben adalah positif yang mirip dengan spesies logam dominan dalam larutan. Oleh karena itu, penyisihan logam dalam kisaran pH 3-4 lebih sedikit karena kecenderungan spesies logam yang lebih kecil untuk bermigrasi ke adsorben karena muatan serupa menolak. Ketika pH menjadi kurang asam, ada kemungkinan lebih besar bagi ion logam bermuatan positif untuk tertarik ke adsorben yang semakin bermuatan negatif (Nadeem *et al.*, 2009).

5. Temperatur

Suhu meningkat dengan peningkatan yang sesuai

dalam kapasitas adsorpsi dan persentase penyisihan adsorbat (Abel *et al.*, 2020).

6. Waktu kontak

Adsorpsi adsorbat ke adsorben meningkat pada tahap awal waktu kontak dan setelah itu, dilanjutkan pada tingkat yang lebih lambat sebelum akhirnya mencapai saturasi pada waktu kontak kesetimbangan. Kapasitas adsorpsi awal yang tinggi dan persentase penyisihan minyak mentah dapat dikaitkan dengan keberadaan situs aktif kosong pada permukaan adsorben dan juga karena gaya tarik menarik yang kuat antara molekul adsorbat dan adsorben yang berkurang seiring dengan waktu kontak yang meningkat (Olufemi & Otolurin, 2017). Adsorpsi cepat pada tahap awal mungkin karena gradien konsentrasi awal antara adsorbat dalam larutan dan pengikatan jumlah situs yang tersedia pada permukaan adsorben di awal sedangkan penurunan efisiensi mungkin karena terbatasnya perpindahan massa dari molekul adsorbat dari cairan curah ke permukaan luar adsorben (Onundi, Mamun, Al Khatib, Al Saadi, & Suleyman, 2011).

7. Konsentrasi Adsorben

Peningkatan dosis adsorben menyebabkan pe-

nurunan kapasitas adsorpsi adsorben tetapi meningkatkan persentase penyisihan adsorbat karena ada peningkatan permukaan adsorpsi yang tersedia untuk interaksi (Wambu, Muthakia, Wa-Thiong'o, & Shiundu, 2011). Peningkatan situs aktif menyebabkan persentase penyisihan adsorbat yang lebih tinggi tetapi menurunkan kapasitas adsorpsi adsorbat per satuan massa adsorben. Hal ini disebabkan lebih banyak situs aktif yang tersedia pada permukaan adsorben untuk adsorbat yang akan diadsorpsi pada dosis adsorben yang lebih tinggi (Itodo & Itodo, 2010; Olufemi & Otolurin, 2017), sehingga menyebabkan interaksi yang lebih tinggi antara partikel adsorbat dan adsorben (Abel *et al.*, 2020). Dosis adsorben memiliki pengaruh yang besar terhadap proses adsorpsi. Jumlah adsorpsi meningkat dengan meningkatnya jumlah dosis adsorben. Efisiensi penyisihan berhubungan langsung dengan jumlah situs adsorpsi yang tersedia (Souundarrajan, Gomathi, & Sudha, 2012). Jumlah situs adsorpsi atau luas permukaan meningkat dengan berat adsorben dan karenanya menghasilkan persentase penyisihan logam yang lebih tinggi pada dosis tinggi (Amarasinghe & Williams, 2007).

Banyak faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi biomassa termasuk konsentrasi adsorbat awal, dosis adsorben, suhu, pH, waktu kontak, kecepatan pengadukan, ukuran partikel (Abel *et al.*, 2020; Bilal *et al.*, 2013). Namun, pH adalah salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi adsorpsi logam ke biomassa (Bilal *et al.*, 2013).

Proses adsorpsi dapat menghilangkan kandungan logam-logam berat dari air limbah. Proses adsorpsi menawarkan fleksibilitas dalam desain dan operasi serta dalam banyak kasus menghasilkan limbah olahan berkualitas tinggi. Selain itu, adsorpsi bersifat reversibel dan adsorben dapat diregenerasi dengan teknik desorpsi yang sesuai. Banyak adsorben berbiaya rendah telah dikembangkan dan diamati untuk menghilangkan ion logam berat. Ini mencerminkan efisiensi adsorpsi yang bervariasi tergantung pada jenis adsorben yang digunakan (Bilal *et al.*, 2013).

1.7

Sifat Umum Adsorpsi

Sifat permukaan yang unik dari karbon aktif, berbeda dengan sorben utama lainnya, adalah bahwa

permukaannya nonpolar atau hanya sedikit polar sebagai akibat dari gugus oksida permukaan dan pengotor anorganik. Sifat unik ini memberikan keuntungan karbon aktif sebagai berikut: (Yang, 2003)

1. Ini adalah satu-satunya sorben komersial yang digunakan untuk melakukan proses pemisahan dan pemurnian tanpa memerlukan penghilangan kelembaban yang ketat sebelumnya, seperti yang diperlukan dalam pemurnian udara. Untuk alasan yang sama, juga banyak digunakan sebagai sorben untuk proses pengolahan larutan encer.
2. Karena permukaan internalnya yang besar dan dapat diakses (dan volume pori yang besar, ia menjerap lebih banyak molekul organik nonpolar dan polar lemah daripada sorben lain. Misalnya, jumlah metana yang diadsorpsi oleh karbon aktif pada 1 atmosfer (atm) dan suhu kamar kira-kira dua kali lipat dari yang dijerap oleh saringan molekul 5Å dengan berat yang sama.
3. Panas adsorpsi, atau kekuatan ikatan, umumnya lebih rendah pada karbon aktif daripada sorben lainnya. Ini karena hanya gaya Van Der Waals non-spesifik yang tersedia sebagai gaya utama untuk adsorpsi. Akibatnya, pengupasan molekul terjerap

relatif lebih mudah dan menghasilkan kebutuhan energi yang relatif lebih rendah untuk regenerasi sorben (Yang, 2003).

1.8 Mekanisme Adsorpsi

Untuk proses sorpsi padat-cair, transfer zat terlarut biasanya ditandai dengan transfer massa eksternal (difusi lapisan batas), atau difusi intrapartikel, atau keduanya. Tiga langkah menganalisis mekanisme adsorpsi sebagai berikut: (Kalavathy, Karthikeyan, Rajgopal, & Miranda, 2005)

1. Transportasi zat terlarut dari larutan curah melalui film cair ke permukaan luar adsorben;
2. transportasi adsorbat di dalam pori-pori adsorben (difusi partikel);
3. adsorpsi adsorbat pada permukaan luar adsorben.

Umumnya, langkah terakhir adalah reaksi kesetimbangan dan itu adalah sangat cepat; maka resistansi dianggap dapat diabaikan. Langkah paling lambat menentukan parameter pengontrol laju dalam proses adsorpsi. Namun, parameter pengontrol laju mungkin didistribusikan antara mekanisme difusi intrapartikel dan film.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, U. A., Habor, G. R., & Oseribho, O. I. (2020). Adsorption Studies of Oil Spill Clean-up Using Coconut Coir Activated Carbon (CCAC). *American Journal of Chemical Engineering*, 8(2), 36–47.
<https://doi.org/10.11648/j.ajche.20200802.11>
- Acquah, C., Sie Yon, L., Tuah, Z., Ling Ngee, N., & Danquah, M. K. (2016). Synthesis and performance analysis of oil palm ash (OPA) based adsorbent as a palm oil bleaching material. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1098–1104.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.004>
- Amarasinghe, B. M. W. P. K., & Williams, R. A. (2007). Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 132(1–3), 299–309.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.016>
- Amuda, O. ., Edewor, T. I., Afolabi, T. J., & Hung, Y. T. (2013). Steam-activated carbon prepared from Chrysophyllum albidum seed shell for the adsorption of cadmium in wastewater: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *International Journal of Environment and Waste Management*, 12(2), 213–229.
<https://doi.org/10.1504/IJEW.2013.055595>
- Barrow, G. . (1962). *Introduction to Molecular Spectroscopy. The Physics Teacher* (4th ed). Tpkyo: McGraw-Hill Book Co. <https://doi.org/10.1119/1.2351147>

- Bilal, M., Shah, J. A., Ashfaq, T., Gardazi, S. M. H., Tahir, A. A., Pervez, A., ... Mahmood, Q. (2013). Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial wastewater-A review. *Journal of Hazardous Materials*, 263, 322–333. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.071>
- Djaeni, M., Asiah, N., & Sasongko, S. (2013). *Aplikasi Sistem Pengeriing Adsorbsi Untuk Bahan Pangan dan Aditif*. Unnes Press. Semarang.
- Haura, U., Razii, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya pada Adsorpsi Logam Pb(II) dan Cr(VI). *Biopropal Industri*, 8(1), 47–54.
- Igwe, J. C., & Abia, A. A. (2006). A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents. *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167–1179. <https://doi.org/10.4314/ajb.v5i11.43005>
- Itodo, H. U., & Itodo, A. U. (2010). Surface Coverage and Adsorption Study of Dye Uptake by Derived Acid and Base Treated Mango Seed Shells. *Journal Chemical Pharmacy Resources*, 2(3), 673–683.
- Kalavathy, M. H., Karthikeyan, T., Rajgopal, S., & Miranda, L. R. (2005). Kinetic and isotherm studies of Cu(II) adsorption onto H₃PO₄-activated rubber wood sawdust. *Journal of Colloid and Interface Science*, 292(2), 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.05.087>
- Langmuir, I. (1918). The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Mica. In *Journal of the American Chemical*

Society (pp. 1361–1402).
<https://doi.org/10.1021/ja01269a066>

Leusch, A., & Volesky, B. (1995). The influence of film diffusion on cadmium biosorption by marine biomass. *Journal of Biotechnology*, 43(1), 1–10.
[https://doi.org/10.1016/0168-1656\(95\)00102-7](https://doi.org/10.1016/0168-1656(95)00102-7)

Nadeem, M., Shabbir, M., Abdullah, M. A., Shah, S. S., & McKay, G. (2009). Sorption of cadmium from aqueous solution by surfactant-modified carbon adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 148(2–3), 365–370.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.09.010>

Olufemi, B. A., & Otolorin, F. (2017). Comparative adsorption of crude oil using mango (*Mangnifera indica*) shell and mango shell activated carbon. *Environmental Engineering Research*, 22(4), 384–392.
<https://doi.org/10.4491/eer.2017.011>

Onundi, Y. B., Mamun, A. A., Al Khatib, M. F., Al Saadi, M. A., & Suleyman, A. M. (2011). Heavy metals removal from synthetic wastewater by a novel nano-size composite adsorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8(4), 799–806.
<https://doi.org/10.1007/BF03326263>

Reynolds, T. D., & Richards, P. A. (1982). Unit operation and process in environmental engineering. *Wadsorth, CA*. Retrieved from http://books.google.ca/books/about/Unit_Operations_and_Processes_in_Environ.html?id=9oViQgAACAAJ&pgis=1

- Souundarrajan, M., Gomathi, T., & Sudha, P. (2012). Adsorptive removal of chromium (VI) from aqueous solutions and its kinetics study. *Archives of Applied ...*, 4(1), 225–235. Retrieved from <http://scholarsresearchlibrary.com/aasr-vol4-iss1/AASR-2012-4-1-225-235.pdf>
- Wambu, E. W., Muthakia, G. K., Wa-Thiong'o, J. K., & Shiundu, P. M. (2011). Kinetics and thermodynamics of aqueous Cu(II) adsorption on heat regenerated spent bleaching earth. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 25(2), 181–190. <https://doi.org/10.4314/bcse.v25i2.65857>
- Yang, R. T. (2003). *Fundamentals and Applications Plasmonics: Fundamentals and Applications. Physics*. New York: A JOHN WILEY & SONS, INC. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.020>
- Zhang, P. (2016). Adsorption and Desorption Isotherms, 1–19. Retrieved from http://www.kereseachgroup.com/uploads/4/8/4/5/48456521/160903_introduction_to_bet_isotherms.pdf

BAB 2 | ADSORBEN DAN ADSORBAT

2.1 Adsorben

Menurut ASTM F726-99, definisi adsorben adalah bahan tidak larut yang dilapisi oleh cairan pada permukaannya termasuk pori-pori dan kapiler tanpa pembengkakan padat lebih dari 50% dalam cairan berlebih (NRT-RRT, 2007). Sorben pada dasarnya adalah bahan inert dan tidak larut yang digunakan untuk menghilangkan minyak dan bahan berbahaya dari air melalui adsorpsi. Minyak atau zat berbahaya tertarik ke permukaan sorben kemudian melekat padanya; penjerapan, dimana minyak atau zat berbahaya menembus pori-pori bahan penjerap (NRT-RRT, 2007).

Karbon aktif juga dikenal sebagai arang aktif atau spons padat adalah amorf, senyawa karbon nongrafit (Mayyas dan Sahajwalla, 2019). Karbon aktif menunjukkan sifat yang berbeda termasuk luas permukaan yang tinggi (J. H. Khan *et al.*, 2019), pori-pori yang berkembang dengan baik dan dapat disesuaikan (Kesavan *et al.*, 2019), sifat mekanik yang baik (Amorós-

Pérez *et al.*, 2018), karakteristik permukaan yang sangat reaktif (De Falco, Barczak, Montagnaro, & Bandosz, 2018), daya jerap yang baik, dan stabilitas fisiokimia yang dapat diandalkan.

Macam-macam media penjerap (adsorben) yang umum digunakan, yakni:

2.1.1 Karbon Aktif (KA)

Karbon aktif merupakan material yang di dalamnya terdapat banyak pori-pori yang sangat kecil. Adanya pori-pori yang begitu banyak tersebut membuat karbon aktif memiliki banyak kemampuan untuk menjerap zat lain. Pori-pori yang banyak pada karbon aktif tersebut berkat adanya proses aktivasi. Proses aktivasi bisa dilakukan dengan 2 cara yaitu pemanasan dengan suhu tinggi dan penambahan bahan kimia (M. M. S. Ali, El-Sai, & Girgis, 2014). Karbon aktif memiliki bahan dasar yang berasal dari hewan, tumbuhan dan berbagai mineral yang mengandung unsur karbon seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Contoh gambar arang aktif disajikan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Arang Aktif
(Syauqiah, Amalia, & Kartini, 2011)

Proses pembuatan karbon aktif

Proses pembuatan karbon aktif dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah proses karbonisasi, tahap kedua proses aktivasi karbon untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang sehingga meningkatkan porositas arang, pada kedua proses tersebut terjadi tahap-tahap sebagai berikut:

- a. Dehidrasi yaitu proses penghilangan air.
- b. Karbonisasi yaitu proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon, serta mengeluarkan senyawa-senyawa non karbon.
- c. Aktivasi yaitu proses pembentukan dan penyusunan karbon sehingga pori-pori menjadi lebih besar.

Volume besar, mikropori dan mesopori bersama dengan luas permukaan tinggi adalah

faktor utama efisien adsorben dalam penghilangan logam berat yang lebih tinggi dari air limbah. Sebagian besar peneliti (Tabel 2.1) telah mengeksplorasi adsorben dari berbagai sumber.

Tabel 2.1 Adsorben dari Berbagai Sumber yang Dilaporkan Beberapa Literatur

Karbon Aktif	Adsorban	Parameter	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisiensi penghilangan (%)	Referensi
Serbuk gergaji kayu karet	Cu	Waktu kontak dan dosis adsorben	5,72	-	(Kalavathy <i>et al.</i> , 2005)
Sabut kelapa	Minyak mentah	Temperatur, konsentrasi awal minyak mentah, waktu	9859,5	99,98	(Abel <i>et al.</i> , 2020)
Sabut Kelapa	Pb	Waktu kontak, pH		36,69	(Kardiman , La Ifa, & Rasyid, 2020)
Arang sekam <i>cacao</i>	Pb	Waktu kontak, kecepatan pengadukan dan dosis	333 mg/g		(Aderonke <i>et al.</i> , 2014)

		adsorbat awal, ukuran partikel			
Kulit kemiri	Cu	Waktu kontak, pH dan dosis adsorben	95	-	(R. A. Shawabkeh, Rockstraw, & Bhada, 2002)
Kulit biji <i>Chrysophyllum albidum</i>	Kadmium (Cd)	Waktu kontak, pH, dosis adsorbat awal, ukuran partikel dan temperatur	105,33	98	(Amuda <i>et al.</i> , 2013)
Bentonit	Pb	pH, ukuran partikel, pengadukan dan temperatur		100	(Inglezakis, Stylianou, Gkantzou, & Loizidou, 2007)
Zeolit	Pb	pH, ukuran partikel, pengadukan dan temperatur		50	(Inglezakis <i>et al.</i> , 2007)
Serbuk	Metilen	Konsen-	29,50		(Etim,

Sabut kelapa	blue	trasi adsorben, konsentrasi awal adsorbat dan pH			Umoren, & Eduok, 2016)
Silika	Pb	Konsentrasi awal adsorbat		83	(Karnib, Kabbani, Holail, & Olama, 2014)
Karbon granular		Waktu kontak, massa	93,191		(Anjani & Koestiari, 2014)
Pelepah sawit	2,4-D	Konsentrasi adsorbat, massa		352,89	(Salman, Njoku, & Hameed, 2011)
MCM-48/TMSPA	2-CPh	pH, modifikasi bahan kimia		588.23	(Ghaffari, Tehrani, Husain, Anbia, & Azar, 2014)

Keterangan:

- ❖ mesoporous silica material dan 3-(trimethoxysilyl)propyl amine (MCM- 48/ TMSPA)
- ❖ 2-chloro- phenol (2-CPh)
- ❖ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)

KA adalah bahan dengan porositas tinggi, luas permukaan tinggi yang diproduksi melalui karbonisasi dan aktivasi bahan yang mengandung

karbon. KA bersifat amorf yang banyak digunakan dalam adsorpsi polutan dari aliran gas dan cairan (Itodo & Itodo, 2010). KA adalah adsorben yang efektif tetapi mahal karena biaya pembuatannya yang tinggi. Demikian pula polimer telah terbukti efisien dalam adsorpsi zat warna karena kapasitas regenerasinya yang tinggi tetapi kurang ekonomis dalam hal biaya (Deniz & Saygideger, 2011). Bernard & Jimoh (2013) melaporkan bahwa karbon aktif yang berasal dari kulit jeruk dapat diaplikasikan sebagai adsorben yang baik untuk pemurnian air limbah dari ion Pb(II), Fe(II), Cu(II) dan Zn(II) (Bernard & Jimoh, 2013).

KA serbaguna dan banyak digunakan sebagai adsorben dan katalis di banyak industri seperti farmasi, pengolahan makanan, manufaktur vakum, pengelolaan air limbah, dan polusi udara, yang dapat dianggap berasal dari sifat, seperti luas permukaan yang tinggi, distribusi ukuran pori dan sifat permukaan yang dapat disesuaikan (Ao *et al.*, 2018). Dilaporkan bahwa produksi KA global telah meningkat dengan pertumbuhan tahunan rata-rata 5,5% sejak dekade terakhir, tetapi masih belum dapat memenuhi peningkatan kebutuhan dunia yang akan terus meningkat pada tingkat yang lebih

tinggi dari 8,1% di tahun-tahun mendatang. Di negara-negara Asia, terutama di Cina dan India, peningkatan konsumsi KA bahkan lebih tinggi karena perkembangan masyarakat yang cepat dan peningkatan populasi. Sumber daya karbon dengan kandungan karbon tinggi dan anorganik rendah dapat dengan mudah diubah menjadi KA (Tsai, Chang, & Lee, 1997).

Pemanfaatan prekursor terutama tergantung pada biaya, kemurnian dan kepraktisan, selain itu tujuan aplikasi juga menjadi pertimbangan kritis (Stavropoulos & Zabaniotou, 2005). Sebagian besar KA komersial saat ini dibuat dari batubara dan beberapa agro *forestri* bernilai tinggi seperti bambu, kayu, kelapa, dan lain-lain yang harganya sangat mahal dan tidak dapat diperbaharui (Y. Zhang, Lei, Yang, Qian, & Villota, 2018). Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan alternatif-alternatif yang berdaya saing biaya dan terbarukan. Biomassa lignoselulosa (BL) semakin menarik perhatian sebagai satu-satunya energi terbarukan dan melimpah dengan banyak keuntungan ekologis (Bu *et al.*, 2015). BL selalu dihasilkan dari berbagai tanaman darat atau air melalui fotosintesis (Long, Li, Wang, & Jia, 2013). Sebagai satu-satunya sumber

karbon hijau terbarukan, BL telah terbukti menjadi bahan baku yang ideal untuk memproduksi KA. BL yang tampaknya tidak bernilai, seperti limbah kayu dan kayu, limbah pertanian, dan BL herba, selalu langsung atau tidak langsung dibuang atau dibakar, yang menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius dan konsumsi sumber daya. Oleh karena itu, menggunakan BL untuk persiapan KA menunjukkan keuntungan dari biaya rendah, ramah lingkungan, dan terbarukan. Selain itu, dibandingkan dengan KA komersial pada umumnya, KA berbasis BL lebih tersedia, yang dapat disesuaikan untuk berbagai aplikasi (Pallarés & González-Cencerrado, Ana Arauzo, 2018). BL terdiri dari tiga komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Isi dan karakteristik struktural dari ketiga komponen ini sangat penting untuk aplikasi BL (Morgan *et al.*, 2017).

Banyak peneliti telah memperhatikan untuk mengeksplorasi sumber daya semacam ini untuk menghasilkan KA dengan sifat dan efisiensi yang berbeda untuk aplikasi yang berbeda untuk memenuhi permintaan pembangunan berkelanjutan (Rashidi & Yusup, 2018). Namun, masih memiliki tantangan besar untuk produktivitas KA karena

komponen kimia BL yang rumit (Garcia-Nunez *et al.*, 2016). KA biasanya dihasilkan dari BL melalui pirolisis dan aktivasi pada suhu tinggi. Pemilihan jalur aktivasi tergantung pada sifat bahan baku mentah, seperti ukuran, status dan kepadatan (Mohammad-Khah & Ansari, 2009). Kata kuncinya adalah proses pirolisis, dimana kelembaban dan senyawa volatil BL dihilangkan (Ioannidou & Zabaniotou, 2007). Dalam proses pirolisis, BL dipanaskan di dalam reaktor sampai suhu yang dirancang dengan laju pemanasan yang tinggi dalam atmosfer inert. Parameter pirolitik, seperti suhu dan teknologi pemanasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat KA. Sampai saat ini, konversi BL ke KA melalui proses pirolisis telah banyak dipelajari. Namun, sebagian besar aplikasi ini diturunkan untuk menggunakan KA yang dihasilkan untuk proses adsorpsi.

Banyak referensi ulasan telah diterbitkan pada tema adsorpsi KA. Misalnya, kelompok peneliti Ioannidou merangkum adsorpsi KA dalam gas, cairan, dan pestisida organik, masing-masing (Ioannidou & Zabaniotou, 2007). Mohamad Nor, Lau, Lee, & Mohamed (2013) menerbitkan tinjauan komprehensif tentang adsorpsi KA untuk

penghilangan polutan untuk memecahkan masalah lingkungan (Mohamad Nor *et al.*, 2013). Menya, Olupot, Storz, Lubwama, & Kiros. (2018) juga menerbitkan artikel ulasan tentang topik adsorpsi KA untuk meningkatkan penghilangan bahan organik alami dari air (Menya *et al.*, 2018). Pada tahun 2018, Gonz'alez-García memberikan makalah ulasan tentang aplikasi KA yang paling umum dari tahun 1995 hingga 2016 (Garcia-Nunez *et al.*, 2016).

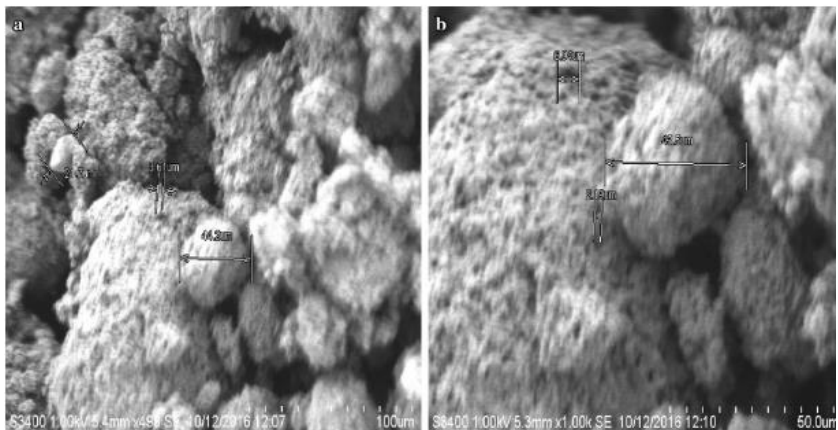
Sampai saat ini, hanya sekitar 6,67% studi yang memperhatikan katalisis KA. Penelitian yang menggunakan KA sebagai katalis dalam proses pirolisis untuk mengupgrade *bio-oil* masih sedikit (Mohan, Sarswat, Ok, & Pittman, 2014). Baru-baru ini, KA telah menunjukkan efisiensi katalitik yang sangat baik dalam selektif meningkatkan bahan kimia target dalam bio-minyak melalui pirolisis biomassa (Dai *et al.*, 2020; Duan *et al.*, 2020). Namun, hingga saat ini aplikasi katalitik KA dalam proses pirolisis biomassa untuk menghasilkan *bio-oil* berkualitas tinggi belum diulas secara rinci. Sangat penting untuk memberikan tinjauan komprehensif tepat waktu untuk menekankan kinerja katalitik KA untuk meningkatkan bio-minyak dalam proses pirolisis biomassa, yang menguntungkan-

kan baik untuk penelitian teoretis maupun panduan industri. Oleh karena itu, pekerjaan saat ini berfokus pada konversi BL menjadi KA, dan kinerja katalitik KA yang dihasilkan dalam meningkatkan kualitas bio-oil dalam proses pirolisis cepat. Pirolisis adalah teknik yang efektif dan menjanjikan untuk mengubah biomassa menjadi beberapa produk bernilai tambah, termasuk biochar, bio-minyak, dan gas (Chiodo, Zafarana, Maisano, Freni, & Urbani, 2016).

Karakterisasi adsorben meliputi estimasi berbagai parameter seperti analisis proksimat (kadar air, kandungan *volatile matter* dan kandungan karbon tetap), *bulk density*, luas permukaan BET, SEM, porositas, dan pH. Luas permukaan adsorben ditemukan oleh *BET surface area analyzer*. Struktur pori karbon aktif diamati melalui analisis SEM. Porositas dan volume pori diperkirakan menggunakan porosimeter merkuri (Guliyev, Ibrahimov, Alekperov, Amirov, & Ibrahimova, 2018).

Seperti diketahui, sifat adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur porinya tetapi juga oleh komposisi kimianya. Panjang dan diameter partikel karbon diukur dengan mikroskop elektron scanning (SEM) dan ditentukan bahwa dalam

deskripsi 500 kali diperbesar (Gambar. 2.2a) bahan karbon aktif terlihat dalam struktur tubular berpori. Tabung-tabung ini dan volume porinya terlihat jelas dalam mikrograf yang diperbesar 1000 kali (Gambar. 2.2b). Dan ditentukan bahwa diameter makropori karbon aktif lebih besar dari sekitar 50 nm. Volumennya dalam karbon aktif adalah $0,4 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan luas permukaannya $1,8 \text{ m}^2/\text{g}$. Diameter efektif pori transisi adalah 40 nm. Luas permukaan spesifiknya sekitar 6% dari total luas permukaan karbon aktif. Volume mikropori sekitar $0,3 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan luas permukaan spesifik mikrospora lebih dari 90% dari total luas permukaan spesifik (Sudamalla, Matheswaran, & Saravanan, 2012).



Gambar 2.2a dan 2b SEM carbon aktif pembesaran 500-1000 kali

Adsorben yang paling banyak digunakan adalah karbon aktif (Babel & Kurniawan, 2003). Karbon aktif komersial relatif mahal karena biayanya yang relatif tinggi, tidak hemat biaya dalam pengolahan volume air limbah yang besar. Itulah sebabnya, biosorben alternatif berbiaya rendah yang bersumber dari bahan alam dan limbah biologis dari proses industri telah mendapat perhatian yang cukup besar (Sethu, Goey, Iffah, Khoo, & Andresen, 2010; Souundarrajan *et al.*, 2012). Kemampuan karbon aktif untuk mengais molekul polutan terutama dikaitkan dengan luas permukaan spesifik yang lebih tinggi (Nadeem *et al.*, 2009).

Tabel 2.2 Analisis Proksimat dan Ultimate, Luas Permukaan BET, Total Pori dan Volume Mikro dari Bio-char yang Dihasilkan dari Cangkang Kelapa Sawit (Arami-Niya, Abnisa, Shafeeyan, Daud, & Sahu, 2012)

Analisa Proximate (wt %)	Analisa ultimate (wt %)	Kadar Ligninocellulosic (wt %)
Fixed carbon (42,9)	C (62,7)	BET luas permukaan, m ² /g (58,3)
Kadar air (7,3)	H (7,9)	Volume pori, cm ³ /g (0,32)

Kadar abu (4,3)	N (1,3)	Volume mikropori, cm ³ /g (0,29)
Volatil (45,5)	O (28,1)	Lebar pori rata-rata, nm (2,32)

Tabel 2.3 Analisis Proksimat dan Ultimate, Luas Permukaan BET, Total Pori dan Volume Mikro dari Bio-char yang Dihasilkan dari Kayu Pinus (Mohan, Sharma, Singh, Steele, & Pittman, 2012)

Analisa Proximate (wt %)	Analisa Ultimate (wt %)
Fixed carbon (78,12)	C (83,47)
Kadar air (2,69)	H (2,99)
Kadar abu (2,30)	N (0,27)
Volatil (16,89)	O (8,25)
Higher heating value HHV BTU/lb (13631)	
Elemental analysis (%)	
SiO ₂	60,0
Al ₂ O ₃	13,0
MgO	1,97
Fe ₂ O ₃	6,22
TiO ₂	0,83
Na ₂ O	0,41
CaO	11,9
K ₂ O	3,13

Tabel 2.4 Analisis Proksimat, Luas Permukaan BET, Bilangan Iodin, *Methylene Blue Number* dan Bulk Density dari Adsorben Karbon Aktif Serbuk Gergaji Kayu Karet (Kalavathy *et al.*, 2005)

Karakteristik	Nilai
Karbon (%)	24,15
Kadar air (%)	7,95
Kadar abu (%)	4,96
Volatil (%)	62,91
BET luas permukaan, m ² /g	1673.86
Bilangan iodin (mg/g)	794.53
Methylene Blue number (mg g ⁻¹)	255.00
Bulk density (g ml ⁻¹)	0,38

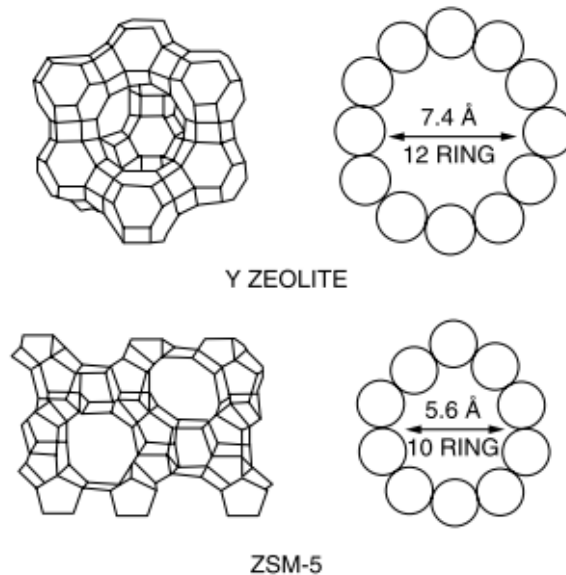
2.1.2 Zeolit

Zeolit adalah aluminosilikat kristal dari unsur alkali atau alkali tanah, seperti natrium, kalium, dan kalsium, dan diwakili oleh komposisi kimianya (Yang, 2003):

$$M_x/n[(AlO_2)_x(SiO_2)_y].zH_2O \quad (2.1)$$

Dimana x dan y adalah bilangan bulat dengan y/x sama dengan atau lebih besar dari 1, n adalah valensi kation M, M adalah kation alkali atau alkali tanah dan z adalah jumlah molekul air di setiap unit sel. Unit struktural utama zeolit adalah tetrahedra silikon dan aluminium, SiO₄ dan AlO₄. Satuan-satuan tersebut dirangkai menjadi satuan bangunan

polihedral sekunder seperti kubus, prisma heksagonal, oktahedra, dan oktahedra terpotong. Atom silikon dan aluminium, yang terletak di sudut polihedra, disatukan oleh oksigen bersama. Struktur zeolit akhir terdiri dari kumpulan unit sekunder dalam kerangka kristal tiga dimensi biasa. Tetrahedra dapat diatur dalam berbagai cara, menghasilkan kemungkinan sekitar 800 struktur kristal, kurang dari 200 di antaranya telah ditemukan di endapan alam atau disintesis di laboratorium di seluruh dunia (Yang, 2003)



Gambar 2.3 Struktur Kerangka Saluran dan Dimensi Saluran (dengan 10 cincin) ZSM-5 (MFI) Dibandingkan dengan Struktur Sangkar dan Dimensi Jendela (dengan 12 cincin) dari Zeolit Y (Yang, 2003)

Alternatif proses pemurnian konvensional yang sangat mahal adalah penggunaan bahan murah seperti Zeolit. Zeolit adalah bahan berpori anorganik yang memiliki struktur pori dan ruang yang sangat teratur yang memungkinkan molekul melewatinya dan menyebabkan yang lain dikeluarkan atau dipecah (Polat, Karaca, Demir, & Onus, 2004). Zeolit memiliki banyak peran penting seperti pertukaran ion, penyaringan, penghilangan bau, saringan kimia, pelembut air, penjerapan gas dan adsorben. Oleh karena itu, selain pertanian, banyak contoh penerapannya adalah produksi semen dan batu bata, stabilisasi tanah, bahan bangunan, komponen cat dengan sifat anti-korosif, defluorinasi limbah industri, desulfurisasi gas buang, penghilangan metilen biru dan merkuri, pemulihan tembaga. Dari limbah, fiksasi fosfat, penghilangan fenol terklorinasi dan netralisasi limbah asam, pembersihan saluran pembuangan, dan logam berat, serta penghilangan ion amonium (Polat *et al.*, 2004).

Salah satu bahan yang menarik untuk dikembangkan sebagai adsorben adalah zeolit alam yang memiliki luas permukaan yang besar dan selektivitas yang tinggi. Zeolit alam memiliki

beberapa kelemahan, karena ketidakmurnian dan struktur kerangka aluminosilikat yang tidak teratur. Zeolit alam mengandung pengotor yang dapat menurunkan aktivitas zeolit sebagai adsorben. Kapasitas adsorpsi zeolit alam dapat ditingkatkan dengan cara dilakukan aktivasi secara fisika dan kimia (Widayat, Suherman, & Haryani, 2006).

Adsorpsi Zeolit alam (klinoptilolit) memiliki kapasitas adsorpsi dan kekuatan ikatan terbesar untuk ion timbal, kemudian seng dan kapasitas terkecil untuk ion kadmium. Zeolit mengadsorpsi ion logam berat Cd(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II) dan Zn(II) masing-masing sebesar 32 %, 75 %, 28 %, 99 % dan 59% (Shaheen, Derbalah, & Moghanm, 2012). Klinoptilolit merupakan zeolit alam yang paling melimpah dan memiliki rumus kimia: $\text{Na}_{0,1}\text{K}_{8,57}\text{Ba}_{0,04}(\text{Al}_{9,31}\text{Si}_{26,83}\text{O}_{72}) \cdot 19,56\text{H}_2\text{O}$ (Brunner, 1993).

Tabel 2.5. Sifat Kimia dan Fisik Zeolit

Oksida (%)	(Panuccio, Crea, Sorgonà, & Cacco, 2008)	(Shaheen <i>et al.</i> , 2012)	(Inglezakis, Stylianou, Gkantzou, & Loizidou, 2005)	
			Analisa XRF	Analisa kimia basah
SiO ₂	46,5	70,1	70,08	72,34
Al ₂ O ₃	15,0	11,4	11,72	14,82
MgO	2,3	0,37	0,71	4,00
Fe ₂ O ₃	3,0	0,78	0,67	0,72
TiO ₂	0,3	0,13	0,14	0,00
Na ₂ O	0,60	0,70	0,55	0,72
CaO	10,0	2,95	3,18	2,78
K ₂ O	6,0	3,30	3,50	3,65
P ₂ O ₅	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-
SO ₃	-	-	-	-
LOI	-	-	9,45	9,45
Kadar air (%)	-	10,68	-	-
bulk density (kg/m ³)	2100	552	-	-
Luas permukaan (m ² /g)	700	200	-	-

Catatan: LOI = *Loss on Ignition*.

2.1.3 Silika Gel

Silika gel digunakan dalam Perang Dunia I untuk penyerapan uap dan gas dalam tabung masker gas. Gel secara efektif menyerap uap dari banyak bahan organik bersama dengan air (Moriguchi *et al.*

2005; Parida *et al.* 2006). Properti ini digunakan untuk pemulihan uap bensin, eter, aseton, dan lain-lain dari udara dan gas alam (Amini *et al.* 2011). Gugus hidroksil menempel kuat pada permukaan silika gel sehingga permukaan ini lebih didominasi asam Bronsted (Shriver & Atkins, 1990).

Silika gel adalah pengering yang paling banyak digunakan karena kapasitasnya yang besar untuk air (~40% berat) dan kemudahan dalam regenerasi (~150 °C, dibandingkan dengan 350 °C untuk regenerasi zeolit). Selain itu, permukaannya dapat dengan mudah dimodifikasi dengan mereaksikan (atau mencangkok) dengan lapisan ligan organik monomolekuler, dan silika gel yang dimodifikasi ini diterapkan dalam peningkatan jumlah aplikasi dalam kromatografi (Yang, 2003).

Silika gel dapat dibentuk melalui dua jalur: (1) polimerisasi asam silikat, dan (2) agregasi partikel silika koloid. Asam silikat, Si(OH)_4 , memiliki kecenderungan kuat untuk berpolimerisasi dan membentuk jaringan siloksan (Si-O-Si), meninggalkan jumlah minimum gugus Si-O-H yang tidak terkondensasi. Nilai pH penting dalam proses polimerisasi (Iler, 1979). Rute kedua melibatkan koagulasi sol silika dengan ukuran yang

agak seragam. Partikel submikrometer ini dapat menggumpal dengan gaya Van Der Waals atau dengan kation sebagai koagulan. Secara komersial, silika dibuat melalui rute pertama dengan mencampurkan larutan natrium silikat dengan asam mineral, seperti asam sulfat atau asam klorida. Reaksi tersebut menghasilkan dispersi terkonsentrasi dari partikel halus SiO₂ terhidrasi, yang dikenal sebagai silika hidrosol atau asam silikat: (Yang, 2003)



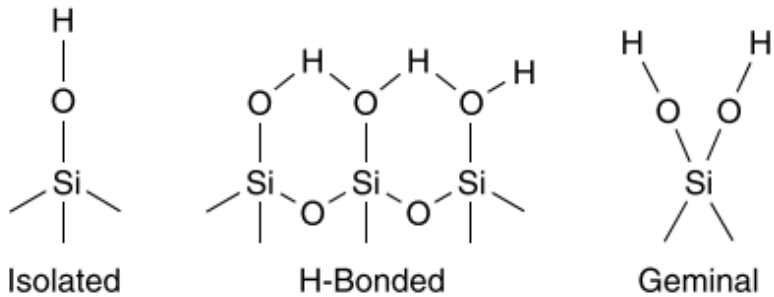
Gel yang dihasilkan dicuci, dikeringkan, dan diaktifkan. Dua jenis silika gel yang umum dikenal sebagai gel silika densitas reguler dan densitas rendah, meskipun keduanya memiliki densitas yang sama (*true* dan *bulk*). Gel densitas reguler memiliki luas permukaan 750-850 m²/g dan diameter pori rata-rata 22-26Å, sedangkan nilai masing-masing untuk gel densitas rendah adalah 300-350 m²/g dan 100-150 Å. Silika gel bersifat amorf. Dengan menggunakan mikroskop elektron resolusi tinggi, diketahui bahwa kerangka amorfnya terdiri dari partikel globular (primer) kecil yang memiliki ukuran 10 hingga 20Å (Rouquerol, Rouquerol, Sing,

Llewellyn, & Maurin, 1999). Properti yang paling banyak digunakan untuk silika gel adalah sebagai pengering, yaitu adsorben untuk kelembaban. Seperti disebutkan, kualitas ini disebabkan oleh volume pori yang besar dan mesoporositas (Yang, 2003).

2.1.3.1 Kimia Permukaan Silika: Kelompok Silanol

Kimia permukaan silika didominasi oleh gugus hidroksil permukaan, atau silanol (Si-O-H). Gugus silanol berpartisipasi dalam adsorpsi (untuk air dan senyawa lain, termasuk senyawa organik) serta modifikasi kimia permukaan silika. Tipe lain, hidroksil vicinal, berlaku untuk hidroksil bebas yang berdekatan satu sama lain di permukaan. Keempat kelompok ini dibentuk oleh dua proses utama. Pertama, mereka terbentuk selama preparasi silika gel, yaitu selama kondensasi polimerisasi asam silikat, Si(OH)_4 . Setelah kering, hidrogel menjadi xerogel, meninggalkan beberapa hidroksil di permukaan. Proses kedua adalah reaksi permukaan siloksan (Si-O-Si) dengan air, dalam kondisi sekitar,

untuk membentuk gugus hidroksil (Yang, 2003). Tiga tipe dasar silanol permukaan ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. Tiga Tipe Dasar Gugus Silanol (Hidroksil) pada Silika (Yang, 2003)

Kepadatan gugus OH di permukaan disebut sebagai bilangan silanol, OH, yang dinyatakan dalam gugus OH per nanometer persegi. Jumlah silanol dapat ditentukan dengan pertukaran deuterium (Zhuravlev, 2000)

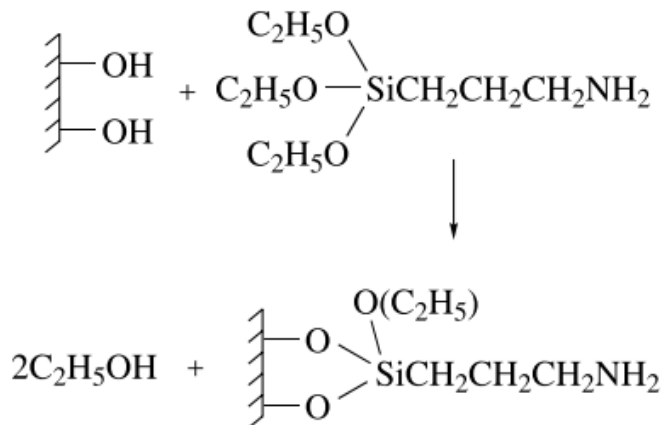
2.1.3.2 Modifikasi Kimia Silika

Silika kuat, mesopori, dan yang lebih penting berlimpah dalam gugus hidroksil permukaan. Sifat-sifat ini membuat mereka cocok untuk pencangkakan kimia. Sorben yang dicangkok banyak digunakan untuk sejumlah aplikasi. Aplikasi yang paling penting adalah untuk fase diam dalam

berbagai kromatografi. Silika yang dicangkok juga merupakan sorben yang menjanjikan untuk adsorpsi selektif. Sebuah contoh akan diberikan untuk potensi penggunaan silika yang dicangkokkan sebagai sorben selektif untuk penghilangan gas asam. Senyawa pencangkakan yang paling umum digunakan adalah 3-aminopropyltriethoxysilane:



Setelah refluks silika dengan larutan silan pada suhu ringan (misalnya, 70 °C), permukaan dicangkokkan dengan reaksi berikut: (Yang, 2003)



Silika gel merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai adsorben

(Yusmaniar, Darwis, Afrizal, & Annisa, 2018). Bahan ini juga digunakan sebagai bahan utama untuk menghasilkan adsorben yang dapat mengadsorpsi ion logam berat atau polutan berbahaya dan beracun karena silika gel memiliki gugus fungsi Si-OH dan Si-O-Si (Mureseanu *et al.*, 2011; Purwanto, Yusmaniar, Ferdiani, & Damayanti, 2017). Namun, bahan ini kurang efektif dalam mengadsorpsi ion logam karena atom oksigen sebagai silanol dan siloxane tidak efektif sebagai donor pasangan elektron. Hal ini akan menyebabkan lemahnya ikatan kimia ion logam pada permukaan silika gel (Buhani, Narsito, Nuryono, & Kunarti, 2010).

Rendahnya kemampuan ini disebabkan oleh adanya ikatan langsung antara atom oksigen dan silikon pada jaringan silika (Purwanto *et al.*, 2017). Atom O dalam silika juga berukuran kecil dan memiliki polarisabilitas yang rendah (Li *et al.*, 2019). Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memodifikasi senyawa organik yang mengandung gugus

fungsi aktif seperti $-OH$, $-NH$, $COOH$, dan $-SH$ yang akan menghasilkan organosilika hibrid (Rezvani-boroujeni, Javanbakht, Karimi, & Akbari-adergani, 2017; Yusmaniar, Purwanto, Putri, & Rosyidah, 2017).

Modifikasi luas permukaan silika gel dapat dilakukan dengan menambahkan gugus fungsi organik yang dapat berperan sebagai pengompleks logam berat secara langsung maupun tidak langsung dengan menggunakan zat antara (Lai, Thirumavalavan, & Lee, 2010; W. Zhu *et al.*, 2017). Oleh karena itu, modifikasi luas permukaan aktif silika gel penting dilakukan untuk meningkatkan efektivitas adsorpsi ion logam dengan menambahkan gugus fungsi aktif lainnya seperti $-SH$ (mercapto). Mercapto ($-SH$) merupakan gugus fungsi yang terdapat pada senyawa organosilan dan gugus ini dapat dimanfaatkan untuk memodifikasi silika. Naat *et al.* (2021) melaporkan modifikasi HS@M yang dilakukan melalui proses sol-gel. Proses ini merupakan salah satu cara

untuk memodifikasi permukaan silika secara kimiawi dalam preparasi bahan hybrid-organosilika melalui jalur homogen (Samiey, Cheng, & Wu, 2014) Metode sol-gel memiliki kelebihan yaitu dapat dibuat pada suhu rendah, homogen, dan dapat dicampur dengan baik dalam sistem multi-komponen (Budnyak *et al.*, 2016).

2.1.4 Bentonit

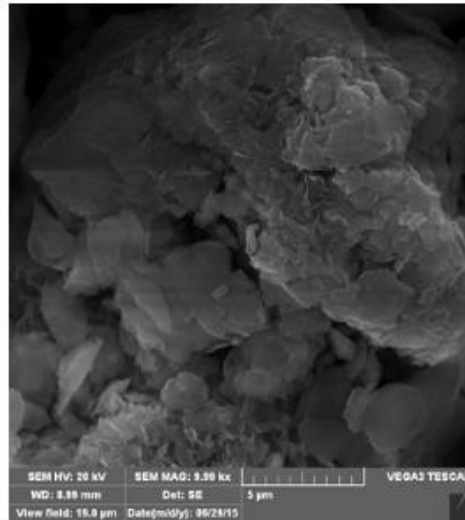
Tanah liat dan mineral lempung sangat menarik karena karakteristiknya yang menarik yang membuatnya cocok untuk aplikasi industri. Mereka telah diterima sebagai salah satu adsorben berbiaya rendah yang paling tepat dan komponen umum dalam aplikasi industri yang berbeda (Fonseca, Vaiss, Wypych, Diniz, & Leitão, 2018). Di antara berbagai jenis tanah liat, bentonit lebih populer. Sifat fisikokimia dan adsorpsinya tergantung pada kandungan montmorillonit, struktur kristal mineral lempung yang menyusunnya dan sifat kation antarlapisan (J. Zhu *et al.*, 2018). Aplikasi paling banyak dari lempung ini adalah pemutihan, pemurnian dan stabilisasi minyak nabati. Tanah liat yang diaktifkan asam telah menarik banyak minat saat ini sebagai

adsorben dan katalis untuk berbagai proses mediasi asam (Yan, Fu, Yang, & Ouyang, 2018).

Tanah liat memiliki kapasitas penukar kation 0,3 meq/g, dan permukaannya relatif polar (lebih polar dari karbon tetapi kurang polar dari silika gel dan alumina aktif) (Yang, 2003). Bio-sorpsi adalah teknik yang menjanjikan untuk adsorpsi logam berat dari lingkungan berair, terutama ketika adsorben berasal dari sumber biologis: lignoselulosa bahan karbon, sumber daya alam dan limbah pertanian (Orhan & Buyukgungor, 1993).

Aktivasi asam dapat secara signifikan meningkatkan sifat permukaannya untuk memungkinkan penggunaannya sebagai *bleaching earth* dalam penyulingan minyak nabati. Dalam proses aktivasi, asam yang paling umum digunakan adalah asam klorida (Ndé *et al.*, 2019; Usman, Ekwueme, Alaje, & Mohammed, 2012) dan asam sulfat (Joy, Richard, & Piere, 2007; Steudel, Batenburg, Fischer, Weidler, & Emmerich, 2009; Taha, Suleiman, & Musa, 2011). Bentonit termasuk dalam kelompok mineral lempung. Dia memiliki struktur silikat berlapis khas yang terdiri dari dua lembaran silika tetrahedral dengan lembaran oktahedral alumina pusat. Ruang interlayer mudah

diakses oleh air dan cairan polar lainnya (Gambar. 2.5).



Gambar 2.5 Mikrofotograf SEM Bentonit (Atkovska, Lisichkov, Ruseska, Dimitrov, & Grozdanov, 2018)

Bentonit memiliki kapasitas penukar kation yang tinggi karena adanya kation terhidrasi, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ dan sebagainya. Pada permukaan interlayer, dan kation ini dapat dengan mudah diganti dengan ion logam berat (Atkovska *et al.*, 2018). Ada banyak penelitian yang berkaitan dengan penggunaan bentonit alami atau yang dimodifikasi dalam perawatan sistem pemurnian air dari ion logam berat. Melichov  & Hromada (2013), telah menggunakan bentonit alam dari Leiskovac (Slovakia) sebagai adsorben yang efektif

untuk adsorpsi Pb^{2+} dan Cu^{2+} ion dari larutan berair (Melichov & Hromada, 2013). Mereka menemukan bahwa jumlah ion logam yang teradsorpsi meningkat dengan meningkatnya nilai pH larutan, dengan meningkatnya konsentrasi awal ion logam dan waktu kontak, sedangkan jumlah Pb^{2+} dan ion Cu^{2+} teradsorpsi per satuan massa adsorben, menurun pada kondisi kesetimbangan dengan meningkatkan jumlah bentonit yang digunakan.

Data eksperimen lebih cocok dengan Langmuir daripada Isoterm Freundlich. Kapasitas adsorpsi lebih tinggi untuk Pb^{2+} dari ion Cu^{2+} masing-masing adalah 32,7 mg/g dan 11,3 mg/g (Melichov & Hromada, 2013). Inglezakis, Stylianou, Gkantzou, & Loizidou (2007) yang menyelidiki kemampuan zeolit alam – klinoptilolit dan bentonit alam untuk menghilangkan ion timbal dari sistem berair, menyimpulkan bahwa meningkatkan nilai pH larutan dari 1 ke 4, mengarah pada peningkatan tingkat adsorpsi ion Pb(II) (Inglezakis, Stylianou, Gkantzou, & Loizidou, 2007). Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa bentonit merupakan adsorben yang lebih efektif dalam eliminasi Pb(II) daripada zeolit, dan

pada kondisi operasi yang sama. Derajat penyisihan Pb(II) dengan bentonit adalah 100%, dan dengan aplikasi zeolit, hanya 55%.

Menurut Dwairi & Al-Rawajfeh (2012) bentonit juga lebih efisien untuk menghilangkan ion kobalt dan nikel dibandingkan zeolit. Mereka mengamati sifat adsorpsi zeolit alam dan bentonit alam dari Yordania dan campurannya 50/50 dan menemukan bahwa campuran 50/50 Z/B menunjukkan tingkat adsorpsi tertinggi. Kapasitas adsorpsi untuk campuran Z/B yang diperoleh isotherm Langmuir untuk Co(II) dan N(II) masing-masing adalah 2,73 mg/g dan 33,3 mg/g (Dwairi & Al-Rawajfeh, 2012).

2.1.4.1 Komposisi dan Sifat-Sifat Bentonit

Upaya pemurnian minyak nabati melalui proses adsorpsi telah dilaporkan oleh banyak peneliti. *Bleaching earth* (BE) diaktifasi dengan asam sulfat atau asam klorida untuk meningkatkan porositas dan daya adsorpsi (Guliyev *et al.*, 2018). Menunjukkan bahwa hanya menggunakan 1% BE yang diaktifasi dengan asam diperoleh penghilangan warna dan klorofil yang lebih tinggi. BE yang diaktifasi dengan asam menyebabkan

timbulnya limbah asam dan polusi limbah padat yang kuat, yang sulit untuk dibuang dan meningkatkan biaya pemurnian karena prosedur netralisasi harus dilakukan untuk meminimalkan efek pembuangan asam ke lingkungan (Chakawa, Nkala, Hlabangana, & Muzenda, 2019). Abdi, Gharachorloo dan Ghavami (2021) mempelajari penggunaan bubuk cangkang telur dalam pemucatan minyak kedelai untuk menghilangkan kotoran seperti logam, produk oksidasi, dan pigmen yang tidak diinginkan. Pemucatan minyak kedelai dengan bubuk cangkang telur 2% mengurangi kandungan karotenoid dan klorofil masing-masing hingga 82,56% dan 46,33%. Abdi, Gharachorloo dan Ghavami (2021) melaporkan bahwa adsorben berbasis cangkang telur menunjukkan efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan BE.

BE diaktifasi dengan asam adalah adsorben yang paling umum digunakan dalam pemucatan minyak nabati. Selain itu, proses adsorpsi juga dapat digunakan dalam industri minyak nabati untuk menghilangkan asam lemak bebas (Cren & Meirelles, 2012).

Ndé *et al.* (2019) mempelajari pengaruh perbandingan antara HCl dan H₂SO₄ terhadap pemucatan minyak sawit menggunakan BE. Hasil menunjukkan bahwa H₂SO₄ 2N diperoleh kinerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan HCl 1N dan H₂SO₄ 1N mengingat efisiensi dan biaya pemucatan minyak sawit (Ndé *et al.*, 2019).

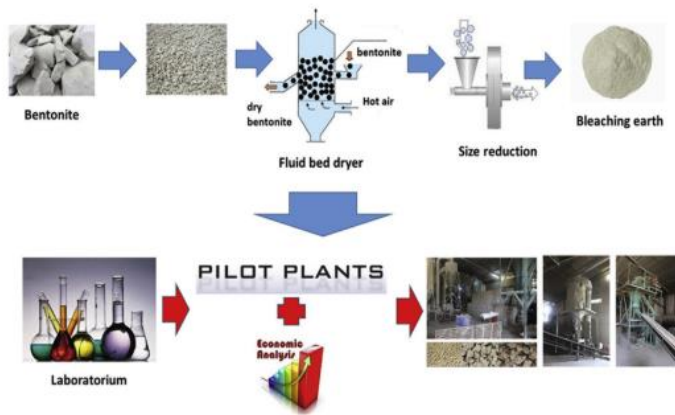
Tabel 2.6 Sifat Kimia dan Fisika Montmorillonit (Bentonit),Tanah Liat Teraktivasi dan Bentonit Tanpa Perlakuan, dalam Bentuk Oksidanya

Oksida (%)	(Baksh & Yang, 1992)	(La Ifa, Wiyani, <i>et al.</i> , 2021)	(Inglezakis <i>et al.</i> , 2005)	(Taha <i>et al.</i> , 2011)	(Amari <i>et al.</i> , 2018)
	Bentonit			Bentonit tanpa perlakuan	Tanah liat
SiO ₂	54,72	55-80	53,72	61,68	49,87
Al ₂ O ₃	15,98	5-20	19,12	13,91	14,27
MgO	1,94	0-8	3,29	6,95	1,46
Fe ₂ O ₃	2,93	2-10	4,93	3,49	6,07
TiO ₂	0,12	-	0,85	0,014	1,41
Na ₂ O	2,04	0-2	3,64	0,18	0,53
CaO	0,82	0-5	5,28	1,71	7,00
K ₂ O	0,34	0-2	0,44	0,18	1,09
P2O5	-	-	-	0,014	0,19
ZnO	-	-	-	-	0,18
SO3	-	-	-	-	0,77
LOI			8,75	8,69	
Kadar air	-	10,68			

(%)		
bulk	552	
density		
(kg/m ³)		
Luas	200	69,00
permukaan		
(m ² /g)		

Keterangan: LOI = *Loss on Ignition*.

Aluminium silikat, yang terutama mengandung sejumlah kecil kalsium, magnesium, besi, natrium, dan kalium oksida adalah BE saat ini. BE atau bentonit biasanya diaktifkan dengan asam sulfat atau asam klorida untuk meningkatkan porositas dan daya adsorpsi (Guliyev *et al.*, 2018). Meskipun BE yang diaktifkan dengan asam biasanya digunakan sebagai zat pemucat karena sifat pemucatan yang unggul. Mereka dapat bertindak sebagai katalis untuk oksidasi katalitik minyak dengan adanya oksigen pada suhu tinggi. Tanah liat yang diaktifkan dengan asam juga menyebabkan timbulnya limbah asam dan polusi limbah padat yang kuat, yang sulit untuk dibuang dan meningkatkan biaya pemurnian. Prosedur netralisasi harus dilakukan untuk meminimalkan efek pelepasan asam ke lingkungan (Chakawa *et al.*, 2019). Ilustrasi skema diagram pengembangan bentonit untuk scale-up disajikan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Skema Diagram Studi Scale-up Bentonit (Soetaredjo *et al.*, 2021)

Salah satu adsorben yang umum digunakan adalah adsorben berbasis biomassa (Anastopoulos *et al.*, 2019). Ketersediaan, murah, dan efektifitas adalah beberapa faktor biomassa yang menjadikannya kandidat kuat untuk pengolahan logam berat (Wang & Chen, 2009). Jenis adsorben ini memang cukup efektif digunakan untuk mengadsorpsi logam berat namun memiliki beberapa kelemahan, seperti: 1) kebutuhan regenerasi kimia; 2) pengotoran dan korosi instalasi pengolahan; 3) pembuangan adsorben yang habis; 4) persiapan adsorben memerlukan biaya tinggi seperti dalam kasus karbon aktif; dan 5) hilangnya kapasitas adsorpsi oleh adsorben pada setiap siklus (Bilal *et al.*, 2013).

Bahan sorben yang ideal digunakan untuk pengolahan tumpahan minyak harus memiliki karakteristik sebagai berikut: *oleophilicity*, tahan lama, dapat digunakan kembali, *biodegradable*, memiliki kapasitas jerapan tinggi dan selektivitas minyak yang tinggi (Deschamps *et al.*, 2003). Sorben adalah bahan yang memiliki afinitas tinggi untuk menarik minyak dan juga menolak air. Sorben dapat dikelompokkan sebagai mineral anorganik dan produk sintesis, alami dan organik (pertanian). Sifat kimia permukaan yang unik dengan adanya berbagai gugus fungsi seperti alkohol, aldehida, keton, karboksilat, eter, fenolik membuat adsorben ini memiliki afinitas tinggi terhadap pengikatan logam dan membuat adsorben menjadi bahan yang menarik untuk menghilangkan logam berat, (Sarabjeet Singh Ahluwalia & Goyal, 2007; Sud, Mahajan, & Kaur, 2008). Sorben pertanian murah, efisien, ramah lingkungan, dan mudah digunakan. Namun, efisiensinya tergantung pada kapasitas penyerapan, kepadatan, keterbasahan, tingkat retensi dan daur ulang dan contohnya adalah kapas, jerami, tongkol jagung, tempurung kelapa, serat kapuk, sabut padi dan kepompong ulat sutra,

jerami, serbuk gergaji, ampas tebu (Abel *et al.*, 2020).

2.1.5 Sabut Kelapa

Serbuk sabut kelapa dideskripsikan sebagai partikel coklat, seperti spons dengan struktur tersusun atas selulosa sekitar 37,9%, lignin 33,5%, hemiselulosa 15,5% (Kondo & Arsyad, 2018). Sabut kelapa merupakan residu dalam pengolahan kelapa hingga saat ini, paling sedikit digunakan dan masih dianggap sebagai limbah belum dikembangkan untuk keperluan industri dan biasanya dibakar atau dibuang (Chaudhuri & Saminal, 2011).

Sabut kelapa memiliki kandungan masing-masing kadar air, selulosa, lignin dan kadar abu 25.2%, 35.99%, 53.5% dan 9%. Kandungan lignin dan selulosa yang tinggi dengan kadar abu serbuk sabut yang rendah merupakan karakteristik hasil samping pertanian yang umumnya disebut sebagai bahan lignoselulosa (Israel, Ogali, Akaranta, & Obot, 2011). Lignin dan selulosa adalah biopolimer yang mengandung beberapa gugus hidroksil fenolik, karboksilat, amino, sulfat yang diakui terkait untuk menghilangkan ion logam berat dan kontaminan lain dari air limbah/efluen (Veglio' & Beolchini,

1997). Hemiselulosa dan selulosa pada struktur bahan lignoselulosa terikat atau diselubungi oleh lignin (Isroi *et al.*, 2011).

Secara alami, sabut kelapa memberikan struktur berpori memiliki luas permukaan 826 (m^2/g) (Chaudhuri & Saminal, 2011); 691,8 (m^2/g) (Abel *et al.*, 2020) sehingga dapat digunakan sebagai bioadsorben (Etim *et al.*, 2016; Oktavian, Poerwadi, Pahleva, Muharyanto, & Supriyono, 2020; R. M. Sari, Gea, Wirjosentono, Hendrana, & Torres, 2021). Konversi sabut kelapa menjadi karbon aktif memiliki tujuan ganda. Pertama, limbah pertanian yang tidak diinginkan diubah menjadi adsorben yang berguna dan bernilai tambah dan kedua, penggunaan produk sampingan pertanian merupakan sumber adsorben potensial yang akan berkontribusi untuk memecahkan sebagian dari masalah kualitas CPO (Abel *et al.*, 2020; Tan, Ahmad, & Hameed, 2008).

Sabut kelapa banyak dimanfaatkan karena memiliki beberapa kelebihan, seperti: tidak mudah patah, tahan terhadap air, tidak mudah membusuk, memiliki kelenturan yang tinggi, jumlahnya banyak, dan mudah diperoleh karena dapat tumbuh dimana-mana. Selain kelebihan, sabut kelapa juga memiliki

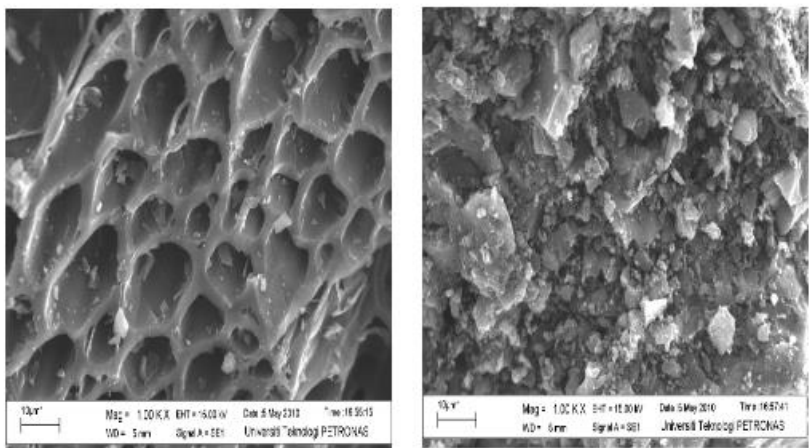
kekurangan seperti butuh waktu yang banyak untuk memisahkan serat sabut kelapa dari sabutnya (Kondo & Arsyad, 2018).

Tabel 2.7. Karakterisasi Serat Sabut Kelapa

Parameter	(Kondo & Arsyad, 2018)	(Israel <i>et al.</i> , 2011)	(Hanum, 2015)
Selulosa (%)	37,9	35,99	26,6
Hemiselulosa (%)	15,5		27,7
Lignin (%)	33,5	53,5	29,3
Air	-	25,5	8
KomponenEkstraktif	-	28,2	4,2
UnsurAnhidrat	-		2,5
Nitrogen	-		0,1
Abu	-	9	0,5



Gambar 2.7 Sabut Kelapa



CCAC

CAC

Gambar 2.8 SEM Karbon Aktif Sabut Kelapa (CCAC) dan Karbon Aktif Komersial (CAC)(Chaudhuri & Saminal, 2011).

Tabel 2.8 Karakterisasi CAAC dan CAC(Chaudhuri & Saminal, 2011) dan Proximate CAAC_{KOH} (Abel *et al.*, 2020)

Parameter	CCAC	CAC	CAAC _{KOH}
Luas permukaan (m ² /g)	826	626	691,800
Luas mikropori (m ² /g)	501	509	-
Volume mikropori (mL/g)	0,25	0,23	-
Diameter pori rata-rata Å	24	15	-
Kadar abu (%)	14	22	2,000
Bulk density (g/mL)	0,31	0,52	0,132 g/cm ³
pH	4,3	5,6	6,690
Kadar air (%)			1,000

Bernard, Jimoh, & Odigure (2013) melaporkan bahwa karbon aktif yang berasal dari sabut kelapa dapat diaplikasikan sebagai adsorben yang baik untuk pemurnian air limbah dari ion Pb(II), Fe(II), Cu(II) dan Zn(II) (Bernard *et al.*, 2013).

2.1.6 Kitosan

Pemanfaatan bahan dan bahan limbah yang efektif adalah salah satu tanggung jawab terbesar dalam hal pembangunan berkelanjutan. Pasar dunia untuk makanan laut krustasea, terutama udang, kepiting, udang karang, dan lobster adalah beberapa juta ton per tahun, dimana 50% dibuang sebagai limbah cangkang. Cangkangnya mengandung sejumlah besar kalsium karbonat dan polimer kitin (15–20% b/b), yang dapat dideasetilasi N, menggunakan natrium hidroksida pekat, menjadi polisakarida kitosan, kopolimer glukosamin dan N-glukosamin. Faktanya, kitin adalah polisakarida alami paling melimpah kedua di dunia. Karena asalnya sebagai bahan kunci dalam struktur pelindung eksternal sistem kehidupan, kitin dan kitosan memiliki beberapa sifat yang luar biasa. Properti ini sekarang sedang dieksplotasi di beberapa bidang penelitian

utama, termasuk pulp dan kertas, tekstil, medis, kosmetik, bioteknologi, pertanian, industri makanan, produksi kimia, pemisahan, dan aplikasi lingkungan (Gerente, Lee, Le Cloirec, & McKay, 2007).

Adsorpsi adalah kemampuan padatan tertentu untuk secara selektif mengonsentrasikan zat terlarut dari larutan ke permukaannya. Kitosan telah menunjukkan potensi untuk menyerap sejumlah besar ion logam, dan ini telah meningkatkan minat yang besar dalam menilai kelayakannya untuk menghilangkan ion logam pada berbagai sistem dan jenis limbah (Gerente *et al.*, 2007).

2.1.6.1 Struktur dan Kejadian Kitin dan Kitosan

Kitosan merupakan limbah polimer berharga yang dihasilkan dari cangkang krustasea. Cangkang kepiting terdiri dari kitin, protein/karoten, kitin, dan kalsium karbonat. Cangkang udang, lobster, dan kepiting merupakan sumber yang sangat kaya bahan kimia ini, mengandung 15-20% kitin (sumber kitosan). Kitin adalah polimer dari kelas polisakarida, biopolimer mirip selulosa yang terutama mengandung unit $-(1 \rightarrow 4)-2$

acetamido-2-deoxy-D-glukosa. Struktur kitin ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Kitosan adalah polimer asetil-glukosamin yang mengalami deasetilasi sebagian. Kitosan adalah poli(aminosakarida) yang terutama mengandung unit poli(1 → 4)-2 amino-2-deoksi-D-glukosa. Struktur kitosan ditunjukkan pada Gambar 2.8. Kitosan biasanya dibuat dari kitin. Kitin telah ditemukan diberbagai sumber alami, seperti krustasea, jamur, serangga, annelida, moluska, coelenterata, dan lain lain. Namun, kitosan hanya dibuat dari krustasea (kepiting, krill, dan udang karang), terutama karena sejumlah besar eksoskeleton krustasea tersedia sebagai produk sampingan dari pengolahan makanan. Massa molekul kitosan untuk produk komersial tergantung pada kondisi pemrosesan. Nilai dalam kisaran 10.000–1.000.000 Da tersedia. Fraksi mol unit deasetilasi (glukosamin), didefinisikan sebagai derajat deasetilasi, biasanya 70-90% (Gerente *et al.*, 2007).

Berbagai upaya termasuk pengembangan proses kimia seperti metode elektro

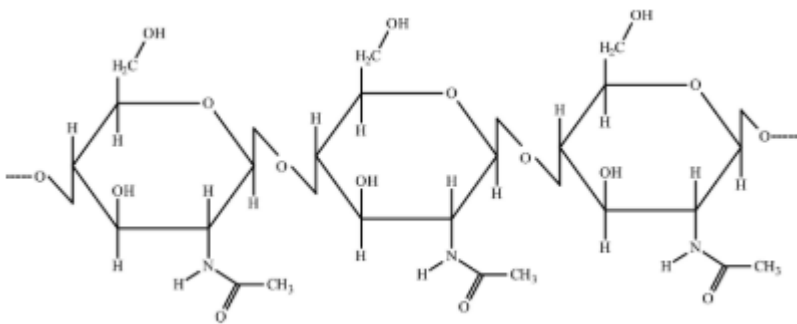
floatasi, presipitasi kimia, pertukaran ion, biosorpsi, co-presipitasi/adsorpsi, flokulasi, dan filtrasi membran telah dikembangkan untuk me-ngurangi efek berbahaya dari logam beracun, logam berat dari air limbah (Deniz & Saygideger, 2011; Gogate & Pandit, 2004; Igwe & Abia, 2006; Onundi, Mamun, Al Khatib, & Ahmed, 2010). Keterbatasan metode di atas adalah biaya operasional yang tinggi, produksi lumpur dan efektivitasnya berbeda, terutama ketika logam hadir dalam larutan pada konsentrasi yang sangat rendah. Namun, memiliki beberapa kelemahan, seperti selektivitas rendah dan jumlah lumpur beracun yang tinggi, biaya tinggi, dan konsumsi energi. Metode adsorpsi telah dilaporkan sebagai metode yang ekonomis, efisien untuk menghilangkan logam berat air limbah karena efektivitasnya bahkan pada konsentrasi rendah (Amuda *et al.*, 2013).

Di antara adsorben berbiaya rendah ini, kitosan memiliki kapasitas penjerapan tertinggi untuk beberapa ion logam (Amuda, Giwa, & Bello, 2007). Kitin, kitosan dikenal sebagai biosorben murah untuk menghilang-

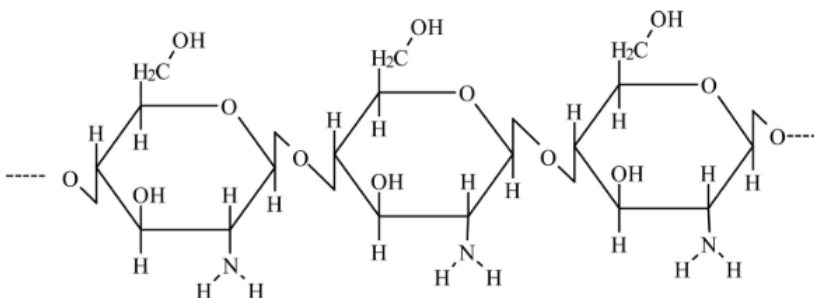
kan logam berat dari larutan encer. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kitosan sangat efisien dalam menghilangkan berbagai logam beracun dan strategis, seperti kromium, kadmium, merkuri, molibdenum, uranium, vanadium, platinum, dan paladium (Gerente *et al.*, 2007).

Kitosan polisakarida alami, turunan dari kitin (Kołodzyńska, 2011), sangat menarik sebagai komponen organik dalam komposit karena jumlah tinggi gugus amino dan hidroksil, yang sangat penting untuk berbagai aplikasi (Ohga, Kurauchi, & Yanase, 1987). Lebih lanjut, kitosan memiliki sifat-sifat seperti biokompatibilitas yang baik, daya rekat tinggi pada permukaan, kisaran stabilitas pH yang luas, sifat pengkelat yang diekspresikan. Telah terbukti bahwa kitosan merupakan bioadsorben yang efektif terhadap beberapa ion beracun, pewarna dan kontaminan organik. Kitosan, polimer alami hidrofilik yang dihasilkan oleh deasetilasi basa kitin, diperoleh terutama dengan ekstraksi dari cangkang udang dan kepiting. Ini adalah biopolimer paling melimpah yang

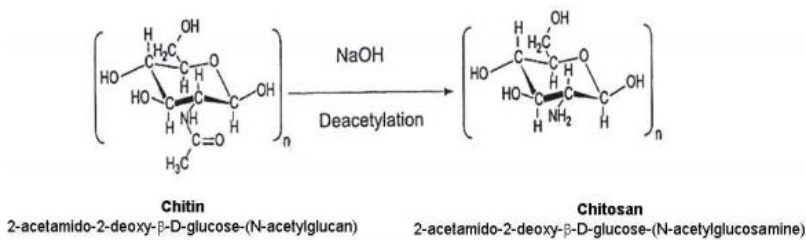
terjadi di alam, setelah selulosa. Hal ini ditandai dengan kandungan nitrogen yang tinggi, hadir sebagai gugus amina yang mampu menyerap ion logam melalui beberapa mekanisme – termasuk interaksi kimia, seperti khelasi, interaksi elektrostatis atau pertukaran ion. Jenis interaksi tergantung pada ion logam, kimianya dan pH larutan awal (Souundarrajan *et al.*, 2012)



Gambar 2.9 Struktur Kitin (Gerente *et al.*, 2007)



Gambar 2.10 Struktur Kitosan (Gerente *et al.*, 2007)



Gambar 2.11 Konversi Citin ke Citosan Proses Deasetilasi (Souundarrajan *et al.*, 2012).

Derajat deasetilasi menjadi parameter utama dalam mempengaruhi kompleksasi karena secara langsung mempengaruhi densitas gugus amino pada permukaan kitosan dan oleh karena itu kapasitas dan mekanisme pembentukan kompleks. Karena sifat ini merupakan faktor penting, banyak metode telah dikembangkan dan diuji untuk menentukan derajat deasetilasi, termasuk spektroskopi inframerah (IR), kromatografi gas pirolisis, permeasi gel, kromatografi dengan spektrofotometri UV, spektrofotometri ultraviolet (UV) turunan pertama, spektroskopi ^1H -NMR (resonansi magnetik nuklir), NMR solid-state ^{13}C , analisis termal, berbagai skema titrasi, hidrolisis asam dan HPLC, spektrometri pemisahan, dan spektroskopi infra red-near (NIR), (resonansi

magnetik nuklir) (Sashiwa, Saimoto, Shigemasa, Ogawa, & Tokura, 1991).

Karakteristik kimia yang paling penting dari kitosan di antaranya adalah derajat deasetilasi. Derajat deasetilasi berkaitan dengan kemampuan kitosan untuk membentuk interaksi isoelektrik dengan molekul lain. Dan berpengaruh terhadap daya guna kitosan dalam aplikasinya. Kitosan ini kemudian dihitung derajat asetilasinya dengan menggunakan metode garis Moore dan Robert dengan menggunakan persamaan (La Ifa, Agus, Kasmudin, & Artiningsih, 2019):

$$DD = 100 - \left[\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{100}{1,33} \right] \quad (2.3)$$

Dimana: A1655 adalah Absorbansi pada panjang gelombang 1655 cm⁻¹ untuk jerapan gugus asetamida (CH₃COONH) dan A3450 adalah adsorbansi pada panjang gelombang 3450 cm⁻¹ untuk jerapan gugus hidroksi/amin (-OH, NH₂). Nilai absorbansi A1655 dan A3450, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A_{1655} = \log \left[\frac{DF_2}{DE} \right] \quad (2.4)$$

$$A_{3450} = \log \left[\frac{AC}{AB} \right] \quad (2.5)$$

Keterangan :

A_{1655} = Absorbansi panjang gelombang 1655 cm^{-1} untuk jerapan gugus hidroksi/amin (-OH, -NH₂).

A_{3450} = Absorbansi panjang gelombang 3450 cm^{-1} untuk jerapan gugus asetamida (CH₃COONH-).

DE = Titik pertemuan antara kurva dengan garis A_{1655} ketika ditarik garis secara *vertical*.

DF₂ = Titik pertemuan antara garis A_{1655} dengan garis diagonal yang ditarik dari titik peak terendah menuju peak titik tertinggi pada area gugus hidroksi/amin (-OH, -NH₂).

AB = Titik pertemuan antara kurva dengan garis A_{3450} ketika ditarik garis secara *vertical*.

AC = Titik pertemuan antara garis A_{3450} dengan garis diagonal yang ditarik dari titik peak terendah menuju peak titik tertinggi pada area gugus asetamida (CH₃COONH-).

**Tabel 2.8. Nilai Derajat Deasetilasi (DD) Kitosan
Peneliti Terdahulu**

Peneliti (Tahun)	Nilai DD (%)
(Trisnawati, Andesti, & Saleh, 2013)	77,84
(Harjanti, 2014)	70,34
(Adelina, 2010)	50,2
(La Ifa, Akbar, Ramli, & Wiyani, 2018)	73,40
(La Ifa <i>et al.</i> , 2019)	78,06

Adsorben berbasis nabati telah berhasil digunakan dalam biosorpsi ion logam beracun dari larutan berair. Bahan-bahan tersebut digunakan dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang ramah lingkungan, murah, efisien, dan bersih. Bahan nabati adalah produk sampingan pertanian dan limbah hutan, yang memiliki afinitas tinggi untuk menghilangkan ion logam berat (Dhir, 2014). Manfaat adsorben nabati dalam biosorpsi logam adalah sebagai berikut: (Jain, Malik, & Yadav, 2016)

- 1) Adsorben dianggap murah (Gupta, Carrott, Ribeiro Carrott, & Suhas, 2009).
- 2) Tersedia secara luas dengan biaya rendah.
- 3) Adsorben dapat digunakan kembali

dengan teknik desorpsi (Dhir, 2014).

- 4) Penyerapan logam yang efektif dapat dicapai dalam waktu yang sangat singkat waktu kontak.
- 5) Berlaku dalam berbagai detoksifikasi logam beracun dari air dan air limbah.
- 6) Adsorben dapat diubah menjadi adsorben komersial dengan modifikasi dan peningkatan bahan tanaman.
- 7) Efektif dalam menghilangkan konsentrasi jejak logam di lingkungan berair.
- 8) Bahan ini juga dapat diperoleh dari kegiatan industri dan pertanian sebagai limbah yang membuatnya layak secara ekonomi.
- 9) Setelah desorpsi adsorben, mereka dapat digunakan kembali dalam penyisihan logam berat (Gautam, Mudhoo, Lofrano, & Chattopadhyaya, 2014).

Keterbatasan adsorben nabati dalam penghilangan logam berat adalah sebagai berikut: (Jain *et al.*, 2016)

- 1) Biasanya adsorben tidak tersedia dalam bentuk siap pakai (Lim & Aris, 2014).

- 2) Beberapa bahan tidak efisien dalam bentuk alami. Modifikasi kimia ini dapat meningkatkan biaya perawatan.
- 3) Pengumpulan adsorben nabati bersama dengan transportasi ke area pemrosesan, menimbulkan biaya tambahan.
- 4) Adsorben ini dapat melarutkan warna menjadi larutan jika kontak dengan air (Dhir, 2014).
- 5) Beberapa adsorben hanya cocok untuk ion logam selektif dan tidak efisien pada ion logam lain (Ahmad *et al.*, 2012).
- 6) Proses pra-pencucian dan pra-perawatan adsorben diperlukan sebelum aplikasinya.

2.2 Adsorbat

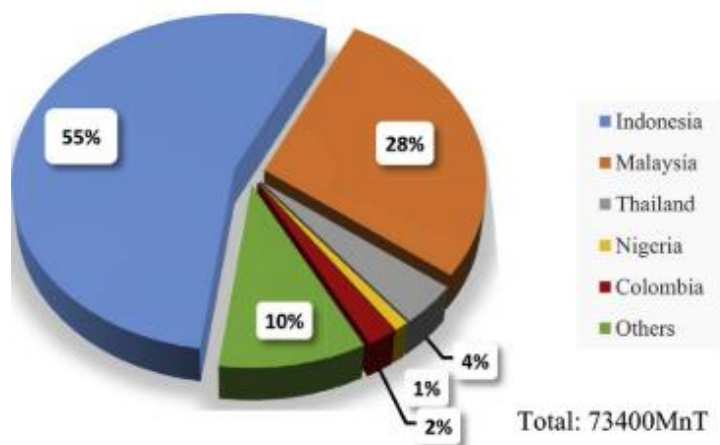
2.2.1 *Crude Palm Oil (CPO)*.

Di seluruh dunia, limbah pertanian yang berbeda telah dieksplorasi sebagai bahan awal untuk persiapan karbon aktif (Rashidi & Yusup, 2018). Tergantung pada sifat prekursor bio-limbah, karbon aktif dengan efisiensi dan sifat yang berbeda telah diproduksi. Namun, konstituen kimia bahan awal

telah memperhitungkan produktivitas arang aktif (González-García, 2018). Sehubungan dengan permintaan dunia akan minyak sawit yang terus meningkat, upaya bersama terus dilakukan oleh negara-negara produsen minyak sawit untuk menanggapi permintaan ini. Negara-negara Asia Tenggara dan sebagian Afrika Barat bertanggung jawab atas sebagian besar produksi minyak sawit dunia.

Dalam studi terbaru oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) pada tahun 2018, Indonesia memimpin produksi minyak sawit dunia dengan 55% dari total pasokan sawit dunia sebesar tujuh puluh tiga ribu empat ratus juta ton, Malaysia menghasilkan 28%, Thailand, Kolombia dan Nigeria masing-masing menghasilkan 4%, 2% dan 1%. Sementara negara-negara lain memiliki akumulasi produksi 10% dari total pasokan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Sebagai hasil dari penggilingan sawit aktif, sejumlah besar bio-limbah yang dihasilkan setiap tahun, termasuk; ijuk, pelepah sawit, tempurung kelapa sawit, dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) (Ahmad *et al.*, 2016). Gambar 2.11 menyajikan proses pengolahan kelapa sawit dan aliran limbah yang ditimbulkan.

Mekanisme pembuangan limbah sawit konvensional bersifat pembakaran terbuka, yang menimbulkan bahaya lingkungan seperti kabut asap, mengurangi kualitas tanah dan memiliki efek akumulatif jangka panjang pada ekosistem negara tetangga (Kurnia, Jangam, Akhtar, Sasmito, & Mujumdar, 2016).



Gambar 2.12. Grafik negara Produsen Minyak Sawit Tahun 2018 (U.S.D.A, 2019).

Kelapa sawit merupakan tanaman tahunan yang tumbuh di daerah tropis dimana produksinya di dunia terus berlangsung sepanjang tahun. Pada tahun 2014, total luas areal produksi kelapa sawit dunia adalah 16.472.000 ha, dimana 77,5% di antaranya berada di Indonesia (8.150.000 ha) dan Malaysia (4.620.000 ha). Sisanya adalah Thailand

(720.000 ha), Nigeria (440.000 ha), Kolombia (354.000 ha), dan Negara lain (2.188.000). Dua produk utama industri ini adalah CPO dan inti sawit padat. Minyak sawit merupakan minyak nabati yang paling banyak diproduksi di dunia, dengan produksi mencapai 59,23 juta ton (t) pada tahun 2014. Kegunaan utama CPO adalah untuk makanan; namun, baru-baru ini digunakan untuk produksi biodiesel dan turunan oleo-kimia (Garcia-Nunez *et al.*, 2016).

Buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) adalah sumber dari kedua minyak kelapa sawit (diekstraksi dari buah sawit) dan minyak inti sawit (diekstraksi dari biji buah) (Lin, 2002). Tanaman kelapa sawit melalui proses ekstraksi dapat menghasilkan CPO yang diolah menjadi bahan baku minyak goreng (Kashi & Widodo, 2019) dan menghasilkan *Palm Kernel Oil* (PKO) (F. S. Ali, Shamsudin, & Yunus, 2014; Noviar & Rifin, 2016; Yustinah & Rahayu, 2014).

CPO adalah minyak nabati berwarna jingga kemerah-merahan, mengandung senyawa trigliserida yang terbentuk dari gliserin dan asam lemak, senyawa nongliserida (phospatida, raffinase, pentosan, karoten, gossypol), dan hidrokarbon

(sterol, keton, asam butirat, tokoferol) (Constant *et al.*, 2017; Leticia, Pighinelli, Gambetta, & Agroenergy, 2012; Priatni, Fauziati, & Adingsih, 2017). Minyak sawit dikonsumsi sebagai margarin, sebagai dasar lemak nabati, sebagai minyak goreng industri, dan beberapa lemak tujuan khusus (Owolarafe, Taiwo, & Oke, 2008).

Dari total biomassa kering yang dihasilkan per ha dalam budidaya kelapa sawit setelah 25 tahun, 39% sesuai dengan panen TKKS, sedangkan 61% sisanya tetap di lapangan. Dari biomassa kering yang diambil dari tanaman, 56 wt.% sesuai dengan produk CPO dan PKO (masing-masing 18 dan 4 wt.% dari total biomassa yang dihasilkan selama 25 tahun), sedangkan biomassa sisa terdiri dari tandan kosong kelapa sawit (7 %berat), serat (7 %berat), dan cangkang (4 %berat)(Garcia-Nunez *et al.*, 2016). Karakteristik komponen utama biomassa padat Pabrik Kelapa Sawit disajikan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Karakteristik Komponen Utama Biomassa Padat Pabrik Kelapa Sawit (Garcia-Nunez *et al.*, 2016)

Komponen	Biomassa (rata-rata %)		
	Serat	TKKS	Cangkang
Lignin	48	15	24
Selulosa	26	43	30

Hemiselulosa	19	21	21
Kadar air	11	36	24
Kadar abu	5	5,7	5,8
Volatil	74	80	78

Keterangan: TKKS : Tandan kosong kelapa sawit

Tabel 2.10 Karakteristik komponen utama biomassa padat Pabrik Kelapa Sawit (Mustakimah & Suzana, 2021)

Komponen	Biomassa (rata-rata %)		
	Serat	TKKS	Cangkang
Lignin	27,2	22,1	50,7
Selulosa	33,9	38,3	20,8
Hemiselulosa	26,1	35,3	22,7
Kadar abu	3,5	1,6	1,0

Keterangan: TKKS : Tandan kosong kelapa sawit

Tabel 2.11 Karakteristik komponen utama biomassa padat Cangkang Kelapa Sawit (Arami-Niya, Daud, & Mjalli, 2010)

Analisa Proximate (wt %)	Analisa ultimate (wt %)	Kadar Ligninocellulose (wt %)
Fixed carbon (13,8)	C (54,7)	Lignin (53,4)
Kadar air (4,7)	H (7,49)	Selulosa (29,7)
Kadar abu (7,2)	N (2,03)	Hemiselulosa (16,9)
Volatil (74,3)	O (35,6)	

Tanaman kelapa sawit melalui proses ekstraksi dapat menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) yang diolah menjadi bahan baku minyak goreng yang menjadi konsumsi minyak nabati terbesar dunia (Ndé *et al.*, 2019). Kualitas CPO biasanya dievaluasi berdasarkan kandungan FFA (Azeman, Yusof, & Othman, 2015; De Almeida *et al.*, 2013). CPO biasanya mengandung asam lemak bebas yang perlu dihilangkan sebagai bagian dari proses pemurnian sehingga dapat memenuhi kebutuhan domestik maupun internasional. Kadar FFA yang tinggi ($>3\%$) menyebabkan ketengikan, perubahan rasa dan warna pada minyak (Cowan, Holm, & Yee, 2012).

Beberapa Penelitian terdahulu mempelajari penggunaan adsorben terhadap kadar FFA. Silva *et al.* (2014) mempelajari pengaruh konsentrasi *bleaching earth* dari 0,09 mejadi 0,27% dengan penambahan sitrat terhadap kadar FFA CPO, menunjukkan kenaikan kadar FFA 9%. Purwasasmita *et al.* (2015) mempelajari pengaruh konsentrasi reaktan NaOH mulai dari 0,1 sampai 0,5N, menunjukkan efisiensi penyisihan FFA CPO yang rendah secara keseluruhan diperoleh pada konsentrasi NaOH di bawah 0,25 N. Riyadi *et al.*

(2016) mempelajari pengaruh waktu kontak, diperoleh efisiensi penghilangan FFA 0,32% sedikit lebih besar dibandingkan waktu kontak 1 jam dengan efisiensi penghilangan FFA 0,29%. Putranti, Wirawan, & Bendiyasa (2018) mempelajari pengaruh jenis adsorben pada minyak goreng kadar rendah menggunakan zeolit teraktivasi NaOH, zeolit alam tanpa aktivasi dan zeolit alam teraktivasi HCl, menunjukkan bahwa zeolit teraktivasi NaOH mampu menurunkan kadar FFA hingga 62,5%. Abdi, Gharachorloo, & Ghavami. (2021) mempelajari pengaruh jenis adsorben, menunjukkan kadar FFA minyak kedelai menggunakan BE teraktivasi asam mengalami peningkatan 96,77% sedangkan menggunakan bubuk cangkang telur yang bersifat basa menghilangkan total (100%) FFA dari minyak kedelai. Anang *et al.* (2020) mempelajari pengaruh waktu terhadap penurunan kadar FFA, kandungan air minyak kelapa dan minyak inti sawit menggunakan zeolit, menunjukkan bahwa waktu kontak 4 jam memberikan penurunan kadar FFA terbesar yakni 89,36% untuk minyak inti sawit dan 93,25% untuk minyak kelapa. Oktavian *et al.* (2020) dalam studinya sintesis dan penilaian kinerja adsorben sabut kelapa untuk pemurnian minyak jelantah,

penurunan kadar FFA hingga 93% selama 45 menit. Chakawa, Nkala, Hlabangana, & Muzenda. (2019) mempelajari pengaruh konsentrasi adsorben kalsium sulfat hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) terhadap persentase penurunan FFA minyak mentah kacang kedelai, diperoleh nilai FFA tetap konstan pada 0,56% untuk konsentrasi adsorben 0-30%. Ifa *et al.* (2021) mempelajari pengaruh waktu kontak dan konsentrasi bentonit dengan CPO terhadap kadar FFA diperoleh persentase penurunan kadar FFA 2.99%.

Minyak sawit memegang peranan penting di antara minyak nabati yang lain karena konsumsi minyak nabati dunia didominasi oleh minyak sawit (Ndé *et al.*, 2019). *Crude Palm Oil* (CPO) adalah minyak nabati yang berasal dari minyak sawit yang mengandung senyawa trigliserida atau *triacylglycerol* partikel padat dengan kandungan lipase, FFA, pigmen, fosfatida, gliserida parsial, bahan pewarna dan karoten (Constant *et al.*, 2017; Guliyev *et al.*, 2018; L. Ifa, Nurjannah, Aladin, Sabara, & Jusoff, 2013; Onwuliri, Igwe, Golu, & Agha, 2011). Senyawa karoten yang terdapat dalam minyak berbentuk pigmen (karotenoid) yang menyebabkan minyak berwarna kuning atau merah (F. S. Ali *et al.*,

2014). Kandungan pigmen dalam CPO dapat menurunkan kejernihan dan mempercepat kerusakan selama penyimpanan karena oksidasi dan hidrolisis, sehingga dapat berdampak pada kesehatan manusia (Tian, Wang, Mu, Kang, & Wang, 2015).

Kualitas CPO ditentukan oleh besarnya kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) (Azeman *et al.*, 2015; De Almeida *et al.*, 2013; Fatin, Rosnah, & Yunus, 2014) dan nilai *deterioration of bleachability index* (DOBI)(Lin, 2004). Kadar FFA yang tinggi (>3 %) menyebabkan ketengikan, perubahan rasa dan warna pada minyak(Cowan *et al.*, 2012).

Pemucatan adalah langkah penting dalam proses fisika dan kimia pemurnian minyak nabati dan pemilihan kondisi optimal untuk proses pemucatan tergantung pada kualitas dan jenis minyak mentah. Proses pemucatan selalu disalah pahami sebagai proses penghilangan warna minyak belaka. Faktanya, pemucatan adalah proses penghilangan pigmen dan pengotor secara selektif melalui interaksi fisik dan kimia adsorben dengan minyak untuk meningkatkan kualitasnya. Proses ini mengacu pada seni menghilangkan tidak hanya pigmen warna tetapi juga jejak logam dan berbagai

kotoran organik yang meningkatkan oksidasi. Proses pemucatan diterapkan setelah degumming dan netralisasi dalam pemurnian kimia dan lebih tepat disebut sebagai perlakuan adsorpsi. Kotoran dari minyak mentah dihilangkan dengan menggunakan bahan dengan daya adsorpsi yang kuat. Metode pemucatan yang biasa dilakukan adalah dengan menjerap zat pewarna pada bahan penjerap. Bahan pemucat biasanya memiliki permukaan besar dengan afinitas lebih atau kurang spesifik untuk molekul tipe pigmen, sehingga menghilangkannya dari minyak tanpa merusak minyak itu sendiri. BE yang diaktifkan dengan asam kadang-kadang disebut bentonit; itu adalah bahan adsorben yang paling banyak digunakan. Zat ini terutama terdiri dari aluminium silikat terhidrasi. Biasanya, BE tidak menghilangkan semua bahan penghasil warna; sebagian besar dari mereka benar-benar dihilangkan dengan peng-hancuran termal selama proses deodorisasi. Gel silika anhidrat dan karbon aktif juga digunakan sebagai adsorben pemutih (Wei, May, Ngan, & Hock, 2004).

Secara umum konsumen, tidak suka menggunakan minyak mentah secara langsung tanpa melalui pengolahan yang tepat karena dapat

menyebabkan warna dan bau yang tidak sedap (Guliyev *et al.*, 2018). Untuk mencapai karakteristik yang diinginkan, seperti warna yang cerah, rasa yang lembut, serta stabilitas oksidasi yang baik dan dalam berbagai kegunaan dalam memasak, manufaktur makanan, bahan kimia, farmasi, kosmetik dan pabrik sabun, minyak sawit harus dimurnikan terlebih dahulu (Ndé *et al.*, 2019; Sampaio, Ceriani, Silva, Taham, & Meirelles, 2011). Pada dasarnya ada dua metode yang biasa digunakan untuk pemurnian minyak sawit yakni pemurnian fisik dan kimia (Azeman *et al.*, 2015; Riyadi *et al.*, 2016).

Tabel 2.12 Komposisi Asam Lemak Palm Olein, CPO dan Sifat Fisika dari CPO

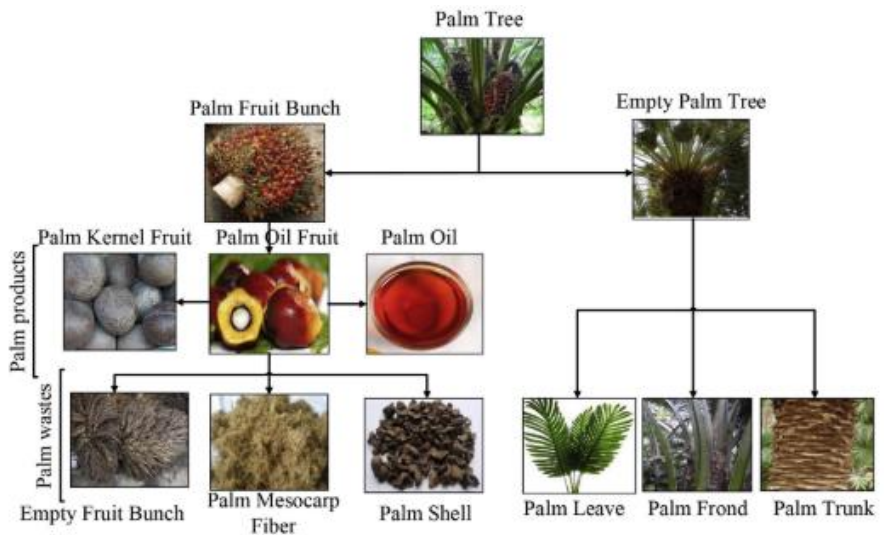
Asam Lemak	Jumlah karbon: ketidakkjenuhan	Massa (%)		
		Palm olein	CPO	CPO
		Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata
		(Sampaio <i>et al.</i> , 2011)	(Soetaredjo <i>et al.</i> , 2021)	(Ribeiro, Almeida, Neto, Abdelnur, & Monteiro, 2018)
Asam Lemak Jenuh				

Laurat	C12: 0	0,50	-	0,15
Miristat	C14: 0	0,92	0,68	0,35
Palmitat	C16: 0	36,84	43,16	26,81
Stearat	C18: 0	4,77	6,01	3,48
Arakhidonat	C20: 0	0,16	0,79	0,29
Asam Lemak Tak Jenuh				
Palmitoleat	C16: 1	0,16	0,18	0,20
Oleat	C18: 1	44,51	38,99	55,3
Linoleat	C18: 2	11,12	9,26	11,61
Linolenat	C18 : 3	0,24	0,58	0,44
Sifat fisika				
Bilangan iod	-	50,1-54,9	-	-
Titik leleh (°C)	-	32-40	-	-
Density (g/ml) pada 50 °C	-	0,8896 0,8910	- -	-
Indeks bias 50°C	1,4548 1,4550	-		

Tabel 2.13 Efisiensi Penyisihan dan Kapasitas Adsorpsi untuk Menghilangkan FFA, Karoten CPO Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben Dilaporkan dalam Literatur

Adsorben	Adsorbant	Efisiensi penyisihan (%)	Kapasitas adasorpsi qe (mg/g)	Referensi
Bentonit	Karoten	56,37	13,60	(La Ifa, Wiyani, <i>et al.</i> , 2021)
	FFA	2,99	6,67E-06 L/g	
Zeolit	FFA	62,50	-	(Putranti <i>et al.</i> , 2018)

Cangkang telur	Karoten	82,43	-	(Abdi <i>et al.</i> , 2021)
Cangkang telur	FFA	100	-	
BE	Karoten	97	13	(Silva <i>et al.</i> , 2013)
BE	CPO-01	95,9	18,41	(Soetaredjo <i>et al.</i> , 2021)
Kalsium sulfat hidrat	FFA	0	-	(Chakawa <i>et al.</i> , 2019)
Sabut kelapa	FFA	66,02	-	(Rahayu, Purnavita, & Sriyana, 2014)
Zeolit	FFA	90,96	-	(Alamsyah, Kalla, & La Ifa, 2017)
Bentonit	FFA	68,75	-	(Alimano & Syafila, 2014)
Zeolit	FFA	62,50	-	
Sekam padi	FFA	18,91	-	(La Ifa, Adil, Faudzal, & Nurjannah, 2018)
Pelepah kelapa sawit	FFA	77,8	-	(Muhdarina, Nurhayati, Pahlepi, Pujiana, & Bahri, 2020)
BE	FFA	70	-	(Bariyah, Andarwulan, & Hariyadi, 2017)
BE	karoten	25,17	-	
Campuran sekam padi dan serat kelapa	FFA	57,06	-	(Irawan, Awalia, & W.P.H, 2013)



Gambar 2.13 Proses Penggilingan Kelapa Sawit dan Aliran Limbah yang Timbul (Ayinla *et al.*, 2019)

2.2.2 Logam Berat

Pencemaran air oleh logam berat beracun melalui pembuangan air limbah industri adalah masalah lingkungan di seluruh dunia. Industrialisasi yang cepat telah secara serius berkontribusi pada pelepasan logam berat beracun ke aliran air. Pertambangan, *elektroplating*, pengolahan logam, tekstil dan industri manufaktur baterai merupakan sumber utama kontaminasi ion logam berat. Logam seperti timbal, kadmium, tembaga, arsenik, nikel, kromium, seng dan merkuri telah diakui sebagai logam berat berbahaya. Toksisitas logam berat

dapat mengakibatkan kerusakan atau penurunan mental dan fungsi saraf pusat, menurunkan tingkat energi dan merusak komposisi darah, paru-paru, ginjal, hati dan organ vital lainnya. Kehadiran logam dalam aliran air dan air laut menyebabkan ancaman kesehatan yang signifikan bagi komunitas air-paling sering kerusakan insang ikan (Corbitt, 1999). Pengendapan diikuti oleh koagulasi telah banyak digunakan untuk menghilangkan logam berat dari air. Namun, proses ini biasanya menghasilkan sejumlah besar lumpur yang terdiri dari sejumlah kecil logam berat. Filtrasi membran adalah cara yang terbukti untuk menghilangkan ion logam tetapi biayanya yang tinggi membatasi penggunaannya dalam praktik (Corbitt, 1999).

Adsorpsi adalah metode yang efisien untuk menghilangkan komponen pelacak dari air. Karbon aktif yang dihasilkan dengan mengkarbonisasi bahan organik adalah adsorben yang paling banyak digunakan. Karbon aktif telah menunjukkan kapasitas adsorpsi ion logam yang baik (Gaikwad, 2004; Pesavento, Profumo, Alberti, & Conti, 2003). Bahan tanaman terutama terdiri dari bahan selulosa yang dapat mengadsorpsi kation logam berat dalam media berair (Gang Sun & Shi, 1998).

Pemanfaatan bahan limbah pertanian semakin menjadi perhatian penting karena limbah ini merupakan sumber daya yang tidak terpakai dan dalam banyak kasus menimbulkan masalah pembuangan yang serius. Banyak sumber limbah biomassa tersedia di berbagai belahan dunia, di mana beberapa sifat adsorpsi eksperimental telah dilaporkan, mis. Sekam padi (El-Araby, Ibrahim, Mangood, & Abdel-Rahman, 2017; Zulkali, Ahmad, & Norulakmal, 2006) tongkol jagung (Vaughan, Seo, & Marshall, 2001), serbuk sabut (S. R. Shukla, Pai, & Shendarkar, 2006), serbuk gergaji (A. Shukla, Zhang, Dubey, Margrave, & Shukla, 2002), daun dan kulit pohon kering (Palma, Freer, & Baeza, 2003) limbah teh dan kopi (Sarabjeet Singh Ahluwalia & Goyal, 2007), dedak padi dan gandum (Farajzadeh & Monji, 2004) dan rumput laut (M. A. Hashim & Chu, 2004). Adsorpsi ion logam berat terjadi sebagai akibat dari interaksi fisikokimia, terutama pertukaran ion atau pembentukan kompleks antara ion logam dan gugus fungsi yang ada pada permukaan sel. Berbagai kelompok fungsional yang terlibat seperti fosfat, karboksil, amina dan amida. Mekanisme pertukaran ion mempertimbangkan model ikatan logam dan reaksi pelepasan proton yang terkenal (A. Shukla *et*

al., 2002).

Logam berat diwakili oleh unsur-unsur yang memiliki suatu densitas spesifik $>5\text{g/cm}^3$ (Jaishankar, Tseten, Anbalagan, Mathew, & Beeregowda, 2014). Klasifikasi ini mencakup unsur-unsur penting (misalnya besi, vanadium, kobalt, tembaga, mangan, seng, strontium, molibdenum), yang penting untuk organisme hidup pada konsentrasi jejak. Namun, jika ambang batas terlampaui, beberapa kerusakan dapat diamati pada sistem kehidupan (Luo *et al.*, 2011). Logam berat juga terdiri dari unsur-unsur nonesensial, termasuk arsenik, kadmium, nikel, timbal, merkuri, dan antimon (A. Khan, Khan, Khan, Qamar, & Waqas, 2015). Ion logam berat dalam ekosistem memiliki dampak berbahaya yang serius bagi semua organisme hidup jika terpapar dalam waktu lama karena bersifat racun, kumulatif, dan tidak dapat dikomposkan (Demcak, Balintova, & Demcakova, 2017; Melichov & Hromada, 2013). Jika seseorang mengkonsumsi air yang mengandung Cu(II) dan Pb(II) di atas kadar normal, maka akan menimbulkan beberapa kerugian seperti muntah, tukak lambung, kolik, hipotensi, nekrosis hati, bahkan koma (Karnib *et al.*, 2014). Oleh karena itu,

harus ada tindakan untuk meminimalkan konsentrasi Cu(II) dan Pb(II) di dalam air.

Ada beberapa metode untuk menghilangkan keberadaan logam berat secara kimia seperti pengendapan kimia, ekstraksi pelarut, koagulasi, pewarnaan, pertukaran ion, pemisahan membran, reverse osmosis dan adsorpsi (Karnib *et al.*, 2014; Olaofe *et al.*, 2015; Samiey *et al.*, 2014; Yusmaniar *et al.*, 2017). Berdasarkan metode di atas, metode adsorpsi adalah yang paling banyak digunakan efektif untuk menurunkan konsentrasi logam berat di dalam air (Ghaffari *et al.*, 2014; W. Zhu *et al.*, 2017). Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan yang lain, yaitu desainnya sederhana, ramah lingkungan, tidak menghasilkan zat beracun, serta efektivitas dan efisiensi tinggi, relatif hemat biaya, mengurangi kemungkinan menghasilkan bahan kimia yang tidak diinginkan (Choi *et al.*, 2018; Ghaffari *et al.*, 2014).

Logam dengan berat jenis sekitar 4,0 atau lebih tinggi dikategorikan sebagai logam berat, yang sebagian besar terdistribusi dalam batuan dan tanah. Logam berat yang dihasilkan dari proses peleburan digunakan untuk berbagai keperluan, seperti baterai, pengukur tekanan darah,

termometer, blok bangunan, dan dalam industri permesinan (Chen *et al.*, 2017). Ion logam berat yang dikeluarkan dari berbagai proses industri dari sumber antropogenik telah menjadi masalah lingkungan dan kesehatan manusia yang serius (G. H. Kumar & Kumari, 2015).

Istilah logam berat digunakan untuk sekelompok unsur yang memiliki nilai kerapatan atom lebih dari 6 g/cm^3 (O'Connell, Birkinshaw, & O'Dwyer, 2008). Logam berat ialah unsur logam seperti arsenik (As), tembaga (Cu), kadmium (Cd), krom (Cr), nikel (Ni), seng (Zn), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan mangan (Mn) merupakan polutan utama, sifatnya yang beracun dan tidak dapat terurai secara hayati (Babarinde & Babalola, 2006; Karnib *et al.*, 2014). Karena toksisitas logam ini, WHO membatasi konsentrasi maksimum ion Cu dan Pb yang dapat diterima dalam air minum masing-masing menjadi 2,0 dan 0,01 mg/L (J. Y. Lee, Chen, Cheng, & Li, 2016), Cd 0,01 mg/dm³ (Amuda *et al.*, 2013).

Pertumbuhan industri yang meningkat merupakan sumber utama masuknya logam berat ke berbagai segmen lingkungan termasuk udara, air, tanah, dan biosfer (S. M. Lee, Laldawngliana, & Tiwari, 2012). Sumber industri tersebut antara lain

industri pertambangan, peleburan, *finishing* permukaan, *elektroplating*, elektrolisis, peralatan listrik dan industri pembuatan papan/sirkuit listrik serta sektor pertanian termasuk pupuk, pestisida (Wang & Chen, 2009).

Logam berat dapat masuk ke lingkungan melalui berbagai sumber seperti: beberapa industri pertambangan, pembakaran bahan bakar fosil, seperti batu bara, pembakaran sampah atau tembakau, dan bahkan kebakaran hutan, melepaskan logam berat ke lingkungan (Olayebi, Olagboye, Olatoye, R, & Olufemi, 2018).

Revolusi industri dan perkotaan telah menyebabkan meningkatnya pencemaran lingkungan oleh logam berat. Pelepasan berlebihan (Pb, Hg, Cd, As, Cu, Zn, Fe dan Cr) ke lingkungan (saluran air, sungai dan sumur), menyebabkan masalah lingkungan. Penghapusan logam berat dari limbah sangat penting. Logam berat sangat beracun bagi makhluk hidup sehingga perlu untuk meminimalkan kehadirannya (Olayebi *et al.*, 2018).

Bahan pertanian, khususnya yang mengandung selulosa menunjukkan potensi kapasitas biosorpsi logam. Limbah pertanian beragam telah berhasil digunakan untuk menghilangkan logam

berat beracun (Pb(II), Cd(II), Hg(II), Cu(II), Ni). (II), Zn(II), Cr(III), dan Cr(VI)) dari limbah industri dan kota yang terkontaminasi (Demirbas, 2008). Komponen dasar biomassa bahan limbah pertanian meliputi hemiselulosa, lignin, ekstraktif, lipid, protein, gula sederhana, hidrokarbon air, pati yang mengandung berbagai gugus fungsi yang memfasilitasi kompleksasi logam yang membantu penyerapan logam berat (Sud *et al.*, 2008)

2.2.2.1 Logam Pb

Kegiatan manusia seperti pertambangan, manufaktur, dan pembakaran bahan bakar fosil telah mengakibatkan akumulasi timbal dan senyawanya di lingkungan, termasuk udara, air, dan tanah. Timbal digunakan untuk produksi baterai, kosmetik, produk logam seperti amunisi, solder, pipa, dan lain lain (Martin & Griswold, 2009). Timbal sangat beracun dan karenanya penggunaannya dalam berbagai produk, seperti cat, bensin, dan lain lain, telah sangat berkurang saat ini. Sumber utama paparan timbal adalah cat berbahan dasar timbal, bensin, kosmetik, mainan, debu rumah tangga, tanah yang terkontaminasi, emisi industri

(Gerhardsson, Dahlin, Knebel, & Schütz, 2002).

Keracunan timbal dianggap sebagai penyakit klasik dan tanda-tanda yang terlihat pada anak-anak dan orang dewasa terutama berkaitan dengan sistem saraf pusat dan saluran pencernaan. Keracunan timbal juga dapat terjadi dari air minum. Pipa-pipa yang membawa air dapat terbuat dari timbal dan senyawa-senyawanya yang dapat mencemari air (Brochin *et al.*, 2008).

Menurut Badan Perlindungan Lingkungan, *Environmental Protection Agency* (EPA), timbal dianggap sebagai karsinogen. Timbal memiliki efek besar pada berbagai bagian tubuh. Distribusi timbal dalam tubuh pada awalnya tergantung pada aliran darah ke berbagai jaringan dan hampir 95% timbal disimpan dalam bentuk fosfat yang tidak larut dalam tulang rangka (Papanikolaou, Hatzidaki, Belivanis, Tzanakakis, & Tsatsakis, 2005).

Toksisitas timbal, juga disebut keracunan timbal, dapat bersifat akut atau kronis. Paparan akut dapat menyebabkan

hilangnya nafsu makan, sakit kepala, hipertensi, sakit perut, disfungsi ginjal, kelelahan, sulit tidur, radang sendi, halusinasi dan vertigo. Paparan akut terutama terjadi di tempat kerja dan di beberapa industri manufaktur yang menggunakan timbal. Paparan kronis timbal dapat mengakibatkan keterbelakangan mental, cacat lahir, psikosis, autisme, alergi, disleksia, penurunan berat badan, hiperaktif, kelumpuhan, kelemahan otot, kerusakan otak, kerusakan ginjal dan bahkan dapat menyebabkan kematian (Martin & Griswold, 2009).

Teknik untuk menghilangkan timbal dari air meliputi pertukaran ion, pengendapan kimia, osmosis balik, penguapan, filtrasi membran dan adsorpsi (Sulaymon, Abid, & Al-Najar, 2009). Beberapa studi terdahulu telah melakukan upaya mengurangi pencemaran logam berat seperti logam Pb(II), dengan menggunakan berbagai jenis adsorben disajikan pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Efisiensi Penyisihan dan Kapasitas Adsorpsi Untuk Menghilangkan Timbal (Pb) Menggunakan Berbagai Jenis Biomassa Limbah Pertanian Dilaporkan dalam Literatur

Adsorben	Efisiensi penyisihan (%)	Kapasitas adasorpsi q_e (mg/g)	Referensi
Limbah teh	90	65	(Amarasinghe & Williams, 2007)
Limbah kapas	90	44,67	(Riaz, Nadeem, Hanif, Ansari, & Rehman, 2009)
Sekam kakao yang dimodivikasi	-	263,16	(Aderonke <i>et al.</i> , 2014)
Daun jagung	>95	-	(Babarinde & Babalola, 2006)
Daun pohon <i>Casuarina glauca</i>	97.37%	-	(Abdel-Ghani, Hefny, & El-Chaghaby, 2007)
Serat inti sawit	-	47,6	(Ho & Ofomaja, 2006)
Biji besai rawa	>90	97	(Rzepa, Bajda, & Ratajczak, 2009)
Dedak	-	63,9	(Farajzadeh & Monji, 2004)
Serat buah kelapa sawit yang tidak dimodifikasi	>40	-	(Abia & Asuquo, 2006)
Pohon pakis	-	40 mg/g	(Ho, Chiu, Hsu, & Huang, 2004)
Limbah daun teh	96	-	(S. S. Ahluwalia & Goyal, 2005)
Barley straws	80	23,2	(Pehlivan, Altun, & Parlayici, 2009)
Selulosa kulit jeruk	-	113,64	(Lai <i>et al.</i> , 2010)

Bentonit alam	-	32,68	(Melichová & Hromada, 2013)
hibrida silika@mercapto (HS@M)	99,56	4,97 mg/g	(Naat <i>et al.</i> , 2021)
Kacang kemiri	99,36	195,9	(Vaggetti <i>et al.</i> , 2009)
hidroksiapatit	99,44	-	(Prasetyo, Azis, & Komalasari, 2018)
Cangkang kepiting	73,93	-	(La Ifa, Akbar, <i>et al.</i> , 2018)
Limbah kulit manggis		38,543 mg/g	(Haura <i>et al.</i> , 2017)
Cangkang telur ayam	91,1242	-	(Hajar, Sitorus, Mulianingtias, & Welan, 2016)
Kulit kacang tanah	96,57%	-	(Zaini & Sami, 2016)
Tongkol jagung	96,92%	-	(Ningsih & Said, 2016)
Kulit singkong		3,1622 mg/g	(Deviyanti, Side, & Netti, 2014)
Serbuk gergaji katu mahoni		111,9709 mg/g	(Rochmah, Prasetya, & Sulistyaningsih, 2017)
Limbah glasir	53,92%	0,031	(Priadi, Anita, Sari, & Moersidik, 2014)
Karbon granula	93,191%		(Anjani & Koestiari, 2014)
Cangkang kelapa sawit	80,13		(Gultom & Lubis, 2014)
Sekam padi	99,38		(Nurhasni, Hendrawati, & Saniyyah, 2014)
Selulosa limbah jerami		4,5 mg/g	(Safrianti <i>et al.</i> , 2012)
Kulit pisang kepok	96,34		(La Ifa,

		Nurdjannah, Ariska, & R, 2020)
Kulit pisang	0,200 mmol/g	(Castro <i>et al.</i> , 2011)
Serbuk gergaji	52,38 mg/g	(Meena, Kadirvelu, Mishra, Rajagopal, & Nagar, 2008)
Bentonit alami	32,68	(Melichov & Hromada, 2013)
Batang kelapa	22,1	(Ofudje <i>et al.</i> , 2015)
Crosslinked chitosan-clay beads	7,93	(Tirtom, Dinçer, Becerik, Aydemir, & Çelik, 2012)
Batu persik	2,33 mg/kg	(Rashed, 2006)

2.2.2.2 Logam Tembaga (Cu)

Tembaga adalah elemen penting yang dibutuhkan oleh manusia untuk perannya dalam sintesis enzim, perkembangan jaringan dan tulang (Akar *et al.*, 2009). Namun, tembaga divalen (Cu^{2+}) beracun dan karsinogenik bila dikonsumsi secara berlebihan. Konsumsi Cu^{2+} yang berlebihan menyebabkan muntah-muntah, sakit kepala, mual, masalah pernapasan, sakit perut, gagal

hati dan ginjal, dan akhirnya perdarahan gastrointestinal (Akar *et al.*, 2009).

Telah diketahui efek merusak yang merugikan pada biota tanah dan kerusakan pada banyak spesies tanaman termasuk beberapa spesies tanaman asli Australia endemik (*Acacia holosericea* dan *Eucalyptus crebra*) (Lamb, Naidu, Ming, & Megharaj, 2012). Jumlah Cu^{2+} yang berlebihan dalam sumber daya air tawar dan ekosistem perairan merusak mekanisme osmoregulasi hewan air tawar (J. A. Lee, Marsden, & Glover, 2010) dan menyebabkan mutagenesis pada manusia (R. Shawabkeh, Al-Harashseh, & Al-Otoom, 2004).

Sejumlah besar Cu^{2+} dilepaskan oleh pembuangan limbah industri yang tidak diolah (Lamb *et al.*, 2012). Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat telah menetapkan batas Cu^{2+} yang diizinkan sebagai 1,3 mg/L dalam limbah industri (R. Shawabkeh *et al.*, 2004). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mendefinisikan batas Cu^{2+} yang diizinkan 1,5 mg/L dalam air minum (Kalavathy *et al.*, 2005).

Adsorpsi adalah metode yang diakui untuk menghilangkan logam berat dari air limbah yang memiliki konsentrasi logam berat yang rendah. Proses adsorpsi menawarkan fleksibilitas dalam desain dan operasi dan dalam banyak kasus menghasilkan limbah olahan berkualitas tinggi. Selain itu, adsorpsi bersifat reversibel dan adsorben dapat diregenerasi dengan teknik desorpsi yang sesuai (Bilal *et al.*, 2013).

Tabel 2.15 Kapasitas Adsorpsi Logam Cu Untuk Berbagai Jenis Biomassa Limbah Dilaporkan dalam Literatur

Adsorben	Efisiensi penyisihan (%)	Kapasitas Produksi qe (mg/g)	Referensi
Tangkai bunga matahari		29,30	(Gang Sun & Shi, 1998)
Trametes versicolor montmorillonit yang tidak dapat bergerak		62,80	(Akar <i>et al.</i> , 2009)
Kacang kemiri	>90	1.35 mmol/g	(Vaghetti <i>et al.</i> , 2009)
Biji besai rawa		25,2	(Rzepa <i>et al.</i> , 2009)
Limbah teh	90	48	(Amarasinghe & Williams, 2007)
Kulit kayu kemiri		0.03 nmol/g	(Demirbas,

			2008)
Barley straws	70	4,64	(Pehlivan <i>et al.</i> , 2009)
Dedak		14,5	(Farajzadeh & Monji, 2004)
Selulosa kulit jeruk		256,41	(Lai <i>et al.</i> , 2010)
Bentonit alam		11,34	(Melichov & Hromada, 2013)
Kulit wijen		11,37	(El-Araby <i>et al.</i> , 2017)
Hibryd silika		0,340 mmol/g	(Mureseanu <i>et al.</i> , 2011)
hibrida silika@mercapto (HS@M)	98,62	19,72 mg/g	(Naat <i>et al.</i> , 2021)
Kacang kemiri	99,56	85,9	(Vaghetti <i>et al.</i> , 2009)
Cangkang kepiting	99,74		(La Ifa, Akbar, <i>et al.</i> , 2018)
Kulit pisang raja	99,62		(Nirmala, Tiwow, & Suherman, 2015)
Serbuk gergaji	85		(Ajmal, Hussain Khan, Ahmad, & Ahmad, 1998)
Kulit pisang		0,330 mmol/g	(Castro <i>et al.</i> , 2011)
Abu sekam padi	97,10	1,3376 mg/g	(Hadiwidodo, 2008)
Jarum pinus		4,03	(Malik, Jain, Yadav, Kothari, & Pathak, 2016)
Serbuk gergaji		5,64	(Meena <i>et al.</i> , 2008)
Bentonit alami		14,34	(Melichov & Hromada,

			2013)
Silika modifikasi	gel	4,35	(Purwanto <i>et al.</i> , 2017)
kitosan	37,6%		(Rahmadani, Susanti, Soripada, & Silaban, 2011)
Bubuk mangga	daun	206,85	(Sethu <i>et al.</i> , 2010)

Pencemaran lingkungan yang serius timbul sebagai akibat dari kegiatan industri dan perkembangan teknologi akibat aliran limbah logam berat dari beberapa industri yang dibuang ke sungai. Ini terjadi di banyak industri termasuk proses penambangan, peleburan, pelapisan logam, pigmen, pembuatan baterai proses, industri metalurgi (Vafakhah, Bahrololoom, Bazarganlari, & Saeedikhani, 2014), penyamakan kulit dan fabrikasi (Das, 2010).

Berbagai metode perlakuan dan teknologi tradisional digunakan untuk menghilangkan logam berat dari air limbah, misalnya, oksidasi/reduksi kimia (Varghese & Das, 2015), elektrodialisis (Marder, Sulzbach, Bernardes, & Zoppas Ferreira, 2003), ultrafiltrasi (Trivunac & Stevanovic, 2006),

ekstraksi pelarut (Kumano, Yabutani, Motonaka, & Mishima, 2006), pertukaran ion, penguapan, filtrasi membran (Ajmal *et al.*, 1998), pengendapan kimia (Mauchauffée & Meux, 2007), reverse osmosis (Demirbas, 2008), dan koagulasi (El Samrani, Lartiges, & Villiéras, 2008). Namun, ada beberapa kelemahan yang menyertai teknologi ini seperti biaya tinggi, sensitif kondisi operasi dan kemungkinan produksi lumpur sekunder (S. S. Ahluwalia & Goyal, 2005; Sud *et al.*, 2008) yang mencekik generalisasi mereka dalam industri.

Adsorpsi dianggap sebagai salah satu metode penting yang digunakan untuk menghilangkan logam berat (Meena *et al.*, 2008). Dibandingkan dengan metode pemurnian dan pemisahan lainnya, adsorpsi-sebagai proses pengolahan air limbah telah menunjukkan efisiensi dan kelayakan ekonomi dan telah menjadi penting dalam aplikasi industri (Girgis & Ishak, 1999), sebagai penghapusan kation logam berat dari larutan berair dengan memilih adsorben yang sesuai di bawah kondisi operasi

optimum (Demirbas, 2008).

Salah satu keunggulan adsorben alami adalah mudah diaplikasikan karena adaptasinya terhadap beberapa kondisi seperti pH, suhu, tekanan, dan agitasi. Selain itu, bahan ini murah dan sangat efisien (Demirbas, 2008). Oleh karena itu, pengembangan bahan adsorben alternatif yang memiliki ketersediaan tinggi, kapasitas adsorpsi tinggi, dan kelayakan sangat diperlukan (Demirbas, 2008). Selain itu, biaya ini bahan biosorben dapat diabaikan dibandingkan dengan biaya karbon aktif atau resin penukar ion (Farahani & Behbahaninia, 2014).

Tembaga dianggap sebagai salah satu logam berat yang paling banyak digunakan dan ion tembaga, Cu(II), adalah spesies yang paling umum ditemukan di lingkungan dan tembaga dalam bentuk ini beracun bagi banyak organisme hidup (Guijuan *et al.*, 2012). Debit drainase, industri pupuk, limbah pertambangan, rendaman pelapisan, cat dan pigmen, dan lain-lain adalah sumber yang berbeda dari limbah tembaga (Ajmal *et al.*,

1998). Meskipun tembaga dalam jumlah sedikit sangat penting untuk organisme hidup, kelebihan tembaga dalam air dapat menyebabkan efek berbahaya seperti neurotoksisitas, penyakit kuning, diare, kesulitan pernapasan, gagal hati dan ginjal, dan bahkan kematian (Guijuan *et al.*, 2012; Larous. & Meniai, 2012).

Asupan tembaga dalam porsi yang terlalu besar oleh manusia menyebabkan iritasi dan korosi mukosa yang parah, kerusakan kapiler yang meluas, kerusakan hati dan ginjal, iritasi sistem saraf pusat diikuti oleh depresi, iritasi gastrointestinal (Ajmal *et al.*, 1998). Di antara beberapa metode yang dijelaskan dalam literatur, adsorpsi adalah metode yang paling efektif yang telah berhasil diterapkan dalam pemurnian dan pemulihan ion Cu(II) dari limbah cair karena efisiensinya yang tinggi dan penanganan yang mudah (Kurniawan, Chan, Lo, & Babel, 2006).

Bahan pertanian terutama yang mengandung selulosa memiliki potensi yang besar kapasitas biosorpsi logam. Kumpulan

gugus fungsi yang terdapat pada komponen dasar biomassa bahan limbah pertanian seperti ekstraktif, hemiselulosa, lignin, lipid, protein, gula sederhana, hidrokarbon air, pati. kelompok fungsional memfasilitasi kompleksasi logam yang membantu untuk eliminasi logam berat (Hashem, Abdel-Halim, El-Tahlawy, & Hebeish, 2005; Sud *et al.*, 2008).

Bahan limbah pertanian tampaknya menjadi pilihan yang layak untuk remediasi logam berat karena berbagai alasan; 1) tersedia dalam jumlah besar, 2) ekonomis dan ramah lingkungan, 3) lebih efisien, 4) memiliki komposisi kimia yang unik, 5) terbarukan dan akhirnya 6) biaya rendah. Bahan-bahan ini digunakan untuk menghilangkan ion logam baik dalam bentuk alami atau setelah beberapa modifikasi fisik atau kimia (Sud *et al.*, 2008).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Ghani, N. T., Hefny, M., & El-Chaghaby, G. A. F. (2007). Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 67–73. <https://doi.org/10.1007/BF03325963>
- Abdi, E., Gharachorloo, M., & Ghavami, M. (2021). Investigation of using egg shell powder for bleaching of soybean oil. *Food Science and Technology*, 140, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110859>
- Abel, U. A., Habor, G. R., & Oseribho, O. I. (2020). Adsorption Studies of Oil Spill Clean-up Using Coconut Coir Activated Carbon (CCAC). *American Journal of Chemical Engineering*, 8(2), 36–47. <https://doi.org/10.11648/j.ajche.20200802.11>
- Abia, A. A., & Asuquo, E. D. (2006). Lead (II) and nickel (II) adsorption kinetics from aqueous metal solutions using chemically modified and unmodified agricultural adsorbents. *African Journal of Biotechnology*, 5(16), 1475–1482. <https://doi.org/10.4314/ajb.v5i16.43142>
- Adelina, P. W. (2010). *Pemanfaatan Kitosan dariCangkng Rajungan pada Proses Adsorpsi Logam Nikel dari Larutan NiSO4. Sekripsi.*
- Aderonke, A. O., Abimbola, B. A., Ifeanyi, E., Omotayo, S. A., Oluwagbemiga, S. A., & Oladotun, W. M. (2014). Adsorption of heavy metal ions onto chitosan grafted cocoa husk char. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 8(10), 147–161. <https://doi.org/10.5897/ajpac2014.0591>

- Ahluwalia, S. S., & Goyal, D. (2005). Removal of heavy metals by waste tea leaves from aqueous solution. *Engineering in Life Sciences*, 5(2), 158–162. <https://doi.org/10.1002/elsc.200420066>
- Ahluwalia, Sarabjeet Singh, & Goyal, D. (2007). Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, 98, 2243–2257. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.12.006>
- Ahmad, T., Danish, M., Rafatullah, M., Ghazali, A., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ibrahim, M. N. M. (2012). The use of date palm as a potential adsorbent for wastewater treatment: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(5), 1464–1484. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0709-8>
- Ajmal, M., Hussain Khan, A., Ahmad, S., & Ahmad, A. (1998). Role of sawdust in the removal of copper(II) from industrial wastes. *Water Research*, 32(10), 3085–3091. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00067-0)
- Akar, S. T., Akar, T., Kaynak, Z., Anilan, B., Cabuk, A., Tabak, Ö., ... Gedikbey, T. (2009). Removal of copper(II) ions from synthetic solution and real wastewater by the combined action of dried *Trametes versicolor* cells and montmorillonite. *Hydrometallurgy*, 97(1–2), 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2009.01.009>
- Alamsyah, M., Kalla, R., & La Ifa, L. I. (2017). Pemurnian Minyak Jelantah Dengan Proses Adsorpsi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 2(2), 22. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v2i2.162>
- Ali, F. S., Shamsudin, R., & Yunus, R. (2014). The Effect of Storage Time of Chopped Oil Palm Fruit Bunches on the Palm Oil Quality. In *Agriculture and Agricultural Science*

Procedia (Vol. 2, pp. 165–172). Elsevier Srl.
<https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.024>

Ali, M. M. S., El-Sai, N., & Girgis, B. S. (2014). Evaluation and Modeling of High Surface Area Activated Carbon from Date Frond and Application on Some Pollutants. *International Journal of Computational Engineering Research*, 4(1), 70–78.

Alimano, M., & Syafila, M. (2014). Diameter Pori Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Adsorpsi Minyak Jelantah. *Teknik Lingkungan*, 20(2), 173–182.

Amarasinghe, B. M. W. P. K., & Williams, R. A. (2007). Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 132(1–3), 299–309.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.016>

Amari, A., Gannouni, H., Khan, M. I., Almesfer, M. K., Elkhaleefa, A. M., & Gannouni, A. (2018). Effect of structure and chemical activation on the adsorption properties of green clay minerals for the removal of cationic dye. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(11).
<https://doi.org/10.3390/app8112302>

Amorós-Pérez, A., Cano-Casanova, L., Ouzzine, M., Rufete-Beneite, M., Romero-Anaya, A. J., Lillo-Ródenas, M. Á., & Linares-Solano, Á. (2018). Spherical activated carbons with high mechanical strength directly prepared from selected spherical seeds. *Materials*, 11(770), 1–9.
<https://doi.org/10.3390/ma11050770>

Amuda, O. ., Edewor, T. I., Afolabi, T. J., & Hung, Y. T. (2013). Steam-activated carbon prepared from Chrysophyllum albidum seed shell for the adsorption of cadmium in wastewater: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *International Journal of Environment and Waste*

- Management*, 12(2), 213–229.
<https://doi.org/10.1504/IJEWm.2013.055595>
- Amuda, O. S., Giwa, A. A., & Bello, I. A. (2007). Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon. *Biochemical Engineering Journal*, 36(2), 174–181.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.02.013>
- Anang, M. A., Dodoo, D., Ntiri, B.-S., Zugle, R., & Fynn, G. E. (2020). Improving the Quality of Locally Produced Vegetable Oils in Ghana Using Zeolite ZSM-11. *Chemical Science International Journal*, 28(4), 1–13.
<https://doi.org/10.9734/csji/2019/v28i430150>
- Anastopoulos, I., Pashalidis, I., Hosseini-Bandegharai, A., Giannakoudakis, D. A., Robalds, A., Usman, M., ... Lima, É. C. (2019). Agricultural biomass/waste as adsorbents for toxic metal decontamination of aqueous solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 295, 111684.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111684>
- Anjani, R. P., & Koestiari, T. (2014). GRANULAR ACTIVATED CARBON ADSORPTION USED FOR ADSORBENT TO REMOVAL HEAVY METAL Pb (II) WITH COMPETITOR ION Na +. *UNESA Journal of Chemistry*, 3(3), 159–163.
- Ao, W., Fu, J., Mao, X., Kang, Q., Ran, C., Liu, Y., ... Dai, J. (2018). Microwave assisted preparation of activated carbon from biomass: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92(April), 958–979.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.051>
- Arami-Niya, A., Abnisa, F., Shafeeyan, M. S., Daud, W. M. A. W., & Sahu, J. . (2012). Optimization of synthesis and characterization of palm shell-based bio-char as a by-product of bio-oil production process. *BioResources*,

- 7(1), 246–264.
<https://doi.org/10.15376/biores.7.1.0246-0264>
- Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., & Mjalli, F. S. (2010). "Using granular activated carbon prepared from oil palm shell by ZnCl₂ and physical activation for methane adsorption. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 89, 197–203.
- Atkovska, K., Lisichkov, K., Ruseska, G., Dimitrov, A. T., & Grozdanov, A. (2018). Removal of heavy metal ions from wastewater using conventional and nanosorbents: A review. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 53(2), 202–217.
- Ayinla, R. T., Dennis, J. O., Zaid, H. M., Sanusi, Y. K., Usman, F., & Adebayo, L. L. (2019). A review of technical advances of recent palm bio-waste conversion to activated carbon for energy storage. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1427–1442.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.116>
- Azeman, N. H., Yusof, N. A., & Othman, A. I. (2015). Detection of free fatty acid in crude palm oil. *Asian Journal of Chemistry*, 27(5), 1569–1573.
<https://doi.org/10.14233/ajchem.2015.17810>
- Babarinde, A., & Babalola, J. O. (2006). Biosorption of lead ions from aqueous solution by maize leaf. *International Journal of Physical Sciences*, 1(1), 23–26.
<https://doi.org/10.5897/IJPS.9000097>
- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 97(1–3), 219–243. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7)
- Baksh, M. S. A., & Yang, R. T. (1992). Unique adsorption properties and potential energy profiles of microporous

- pillared clays. *AIChE Journal*, 38(9), 1357–1368.
<https://doi.org/10.1002/aic.690380906>
- Bariyah, K., Andarwulan, N., & Hariyadi, P. (2017). Reduction of Diacylglyceride and Free Fatty Acid in Crude Palm Oil Using Adsorbents. *Agritech*, 37(1), 48–57.
<https://doi.org/10.22146/agritech.17009>
- Bernard, E., Jimoh, a, & Odigure, J. O. (2013). Heavy Metals Removal from Industrial Wastewater by Activated Carbon Prepared from Coconut Shell. *Research Journal of Chemical Sciences*, 3(8), 3–9.
- Bernard, E., & Jimoh, A. (2013). Adsorption of Pb, Fe, Cu, and Zn from industrial electroplating wastewater by orange peel. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 95–103.
- Bilal, M., Shah, J. A., Ashfaq, T., Gardazi, S. M. H., Tahir, A. A., Pervez, A., ... Mahmood, Q. (2013). Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial wastewater-A review. *Journal of Hazardous Materials*, 263, 322–333.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.071>
- Brochin, R., Leone, S., Phillip, D., Shepard, N., Zisa, D., & Angerio, A. (2008). The Cellular Effect of Lead Poisoning and Its Clinical Picture. *THE GEORGETOWN UNDERGRADUATE JOURNAL OF HEALTH SCIENCES*, 5(2), 1–19.
- Brunner, G. O. (1993). “Quantitative Zeolite Topology” Can Help To Recognize Erroneous Structures and To Plan Syntheses. *Zeolites*, 13(2), 88–91.
[https://doi.org/10.1016/0144-2449\(93\)90065-B](https://doi.org/10.1016/0144-2449(93)90065-B)
- Bu, Q., Lei, H., Wang, L., Yadavalli, G., Wei, Y., Zhang, X., ... Liu, Y. (2015). Biofuel production from catalytic microwave

- pyrolysis of Douglas fir pellets over ferrum-modified activated carbon catalyst. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112, 74–79.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.02.019>
- Budnyak, T. M., Yanovska, E. S., Kołodyńska, D., Sternik, D., Pylypchuk, I. V., Ischenko, M. V., & Tertykh, V. A. (2016). Preparation and properties of organomineral adsorbent obtained by sol-gel technology. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 125(3), 1335–1351.
<https://doi.org/10.1007/s10973-016-5581-9>
- Buhani, B., Narsito, N., Nuryono, N., & Kunarti, E. S. (2010). AMINO AND MERCAPTO-SILICA HYBRID FOR Cd(II) ADSORPTION IN AQUEOUS SOLUTION. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(2), 170–176.
<https://doi.org/10.22146/ijc.21525>
- Castro, R. S. D., Ferreira, G., Padilha, P. M., Saeki, M. J., Zara, L. F., Martines, M. A. U., & Castro, G. R. (2011). Banana Peel Applied to the Solid Phase Extraction of Copper and Lead from River Water : Preconcentration of Metal Ions with a Fruit Waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 3446–3451.
- Chakawa, D. P., Nkala, M., Hlabangana, N., & Muzenda, E. (2019). The use of calcium sulphate dihydrate (CaSO₄.2H₂O) as a bleaching agent for crude soya bean vegetable oil. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 35, pp. 802–807). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.014>
- Chaudhuri, M., & Saminal, S. N. B. (2011). Coconut coir activated carbon: an adsorbent for removal of lead from aqueous solution. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 148, 95–104.
<https://doi.org/10.2495/RAV110101>

- Chen, X., Ma, H., Luo, C., & Zhou, T. (2017). Recovery of valuable metals from waste cathode materials of spent lithium-ion batteries using mild phosphoric acid. *Journal of Hazardous Materials*, 326, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.021>
- Chiodo, V., Zafarana, G., Maisano, S., Freni, S., & Urbani, F. (2016). Pyrolysis of different biomass: Direct comparison among *Posidonia Oceanica*, Lacustrine Alga and White-Pine. *Fuel*, 164, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.09.093>
- Choi, K., Lee, S., Park, J. O., Park, J. A., Cho, S. H., Lee, S. Y., ... Choi, J. W. (2018). Chromium removal from aqueous solution by a PEI-silica nanocomposite. *Scientific Reports*, 8, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20017-9>
- Constant, L.-L.-N. B., Godswill, N.-N., Frank, N.-E. G., Hermine, N.-B., Achille, N., & Martin, B. J. (2017). A review of main factors affecting palm oil acidity within the smallholder oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) sector in Cameroon. *African Journal of Food Science*, 11(9), 296–301. <https://doi.org/10.5897/ajfs2017.1611>
- Corbitt, R. A. (1999). *Standar Handbook of Environmental Engineering*. McGraw Hill (2nd ed).
- Cowan, D., Holm, H. C., & Yee, H. S. (2012). Reduction in free fatty acids in crude palm oil by enzymatic remediation. *Journal of Oil Palm Research*, 24, 1492–1496.
- Cren, É. C., & Meirelles, A. J. A. (2012). Oleic acid removal from ethanolic solutions by ion exchange. *Chemical Engineering Journal*, 184, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.014>

- Dai, L., Zeng, Z., Yang, Q., Yang, S., Wang, Y., Liu, Y., ... Jiang, L. (2020). Synthesis of iron nanoparticles-based hydrochar catalyst for ex-situ catalytic microwave-assisted pyrolysis of lignocellulosic biomass to renewable phenols. *Fuel*, 279(July), 118532. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118532>
- Das, N. (2010). Recovery of precious metals through biosorption - A review. *Hydrometallurgy*, 103(1-4), 180-189. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.03.016>
- De Almeida, D. T., Nunes, I. L., Conde, P. L., Rosa, R. P. S., Rogério, W. F., & Machado, E. R. (2013). A quality assessment of crude palm oil marketed in Bahia, Brazil. *Grasas y Aceites*, 64(4), 387-394. <https://doi.org/10.3989/gya.118412>
- De Falco, G., Barczak, M., Montagnaro, F., & Bandosz, T. J. (2018). A New Generation of Surface Active Carbon Textiles As Reactive Adsorbents of Indoor Formaldehyde. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(9), 8066-8076. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b19519>
- Demcak, S., Balintova, M., & Demcakova, M. (2017). Study of heavy metals removal from model solutions by wooden materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 92, 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/92/1/012008>
- Demirbas, A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 157(2-3), 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.024>
- Deniz, F., & Saygideger, S. D. (2011). Removal of a hazardous azo dye (Basic Red 46) from aqueous solution by

princess tree leaf. *Desalination*, 268, 6–11.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.09.043>

Deschamps, G., Caruel, H., Borredon, M. E., Albasi, C., Riba, J. P., Bonnin, C., & Vignoles, C. (2003). Oil Removal from Water by Sorption on Hydrophobic Cotton Fibers. 1. Study of Sorption Properties in Dynamic Mode. *Environmental Science and Technology*, 37(5), 1013–1015. <https://doi.org/10.1021/es020249b>

Deviyanti, Side, S., & Netti, H. (2014). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Singkong terhadap Ion Logam Timbal (Pb 2+). *Jurnal Chemica*, 15(2), 58–65.

Dhir, B. (2014). Potential of biological materials for removing heavy metals from wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(3), 1614–1627. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2230-8>

Duan, D., Zhang, Y., Wang, Y., Lei, H., Wang, Q., & Ruan, R. (2020). Production of renewable jet fuel and gasoline range hydrocarbons from catalytic pyrolysis of soapstock over corn cob-derived activated carbons. *Energy*, 209, 118454. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118454>

Dwairi, R. A. A., & Al-Rawajfeh, A. E. (2012). Removal of cobalt and nickel from wastewater by using jordan low-cost zeolite and bentonite. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 47(1), 69–76.

El-Araby, H. A., Ibrahim, A. M. M. A., Mangood, A. H., & Abdel-Rahman, A. A.-H. (2017). Sesame Husk as Adsorbent for Copper(II) Ions Removal from Aqueous Solution. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 05(07), 109–152. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.57011>

- El Samrani, A. G., Lartiges, B. S., & Villiéras, F. (2008). Chemical coagulation of combined sewer overflow: Heavy metal removal and treatment optimization. *Water Research*, 42(4-5), 951-960. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.09.009>
- Etim, U. J., Umoren, S. A., & Eduok, U. M. (2016). Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20, S67-S76. <https://doi.org/10.1016/j.jsocs.2012.09.014>
- Farahani, M., & Behbahaninia, A. (2014). Using natural adsorbents to reduce polycyclic aromatic hydrocarbons contamination of oily wastewater. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5(6), 274-281. Retrieved from <http://www.innspub.net>
- Farajzadeh, M. A., & Monji, A. B. (2004). Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations. *Separation and Purification Technology*, 38(3), 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.11.005>
- Fatin, S. ., Rosnah, S., & Yunus, R. (2014). Effect of Chopping Oil Palm Fruit Spikelets on the Free Fatty Acid Content Release Rate and Its Mechanical Properties. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(01), 511-516. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0301086>
- Fonseca, C. G., Vaiss, V. S., Wypych, F., Diniz, R., & Leitão, A. A. (2018). Investigation of the initial stages of the montmorillonite acid-activation process using DFT calculations. *Applied Clay Science*, 165(June), 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.08.012>

- Gaikwad, R. W. (2004). Removal Of Cd (II) From Aqueous Solution By Activated Charcoal Derived From Coconut Shell. *Agric. Food Chem.*, (li), 702–709.
- Garcia-Nunez, J. A., Ramirez-Contreras, N. E., Rodriguez, D. T., Silva-Lora, E., Frear, C. S., Stockle, C., & Garcia-Perez, M. (2016). Evolution of palm oil mills into bio-refineries: Literature review on current and potential uses of residual biomass and effluents. *Resources, Conservation and Recycling*, 110, 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.022>
- Gautam, R. K., Mudhoo, A., Lofrano, G., & Chattopadhyaya, M. C. (2014). Biomass-derived biosorbents for metal ions sequestration: Adsorbent modification and activation methods and adsorbent regeneration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 239–259. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.12.019>
- Gerente, C., Lee, V. K. C., Le Cloirec, P., & McKay, G. (2007). Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption - Mechanisms and models review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(1), 41–127. <https://doi.org/10.1080/10643380600729089>
- Gerhardsson, L., Dahlin, L., Knebel, R., & Schütz, A. (2002). Blood lead concentration after a shotgun accident. *Environmental Health Perspectives*, 110(1), 115–117. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110115>
- Ghaffari, A., Tehrani, M. S., Husain, S. W., Anbia, M., & Azar, P. A. (2014). Adsorption of chlorophenols from aqueous solution over amino-modified ordered nanoporous silica materials. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 4(3). <https://doi.org/10.1007/s40097-014-0114-1>

- Girgis, B. S., & Ishak, M. F. (1999). Activated carbon from cotton stalks by impregnation with phosphoric acid. *Materials Letters*, 39(2), 107–114. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(98\)00225-0](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(98)00225-0)
- Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2004). A review of imperative technologies for wastewater treatment I: Oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in Environmental Research*, 8(3–4), 501–551. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(03\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(03)00032-7)
- González-García, P. (2018). Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(August 2017), 1393–1414. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.117>
- Guijuan, J., Weiwei, B., Guimei, G., Baichao, A., Haifeng, Z., & Shuca, G. (2012). Removal of Cu (II) from Aqueous Solution Using a Novel Crosslinked. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(4), 641–648.
- Guliyev, N. G., Ibrahimov, H. J., Alekperov, J. A., Amirov, F. A., & Ibrahimova, Z. M. (2018). Investigation of activated carbon obtained from the liquid products of pyrolysis in sunflower oil bleaching process. *International Journal of Industrial Chemistry*, 9, 277–284. <https://doi.org/10.1007/s40090-018-0156-1>
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). APLIKASI KARBON AKTIF DARI CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN AKTIVATOR H₃PO₄ UNTUK PENYERAPAN LOGAM BERAT Cd DAN Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), 5–10. <https://doi.org/10.32734/jtk.v3i1.1493>
- Gupta, V. K., Carrott, P. J. M., Ribeiro Carrott, M. M. L., & Suhas. (2009). Low-Cost adsorbents: Growing approach

to wastewater treatmenta review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(10), 783–842. <https://doi.org/10.1080/10643380801977610>

Hadiwidodo, M. (2008). PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH YANG MENGANDUNG LOGAM Cu. *Teknik*, 29(1), 55–62.

Hajar, E. W. I., Sitorus, R. S., Mulianingtias, N., & Welan, F. J. (2016). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb 2+ dan Cd 2+ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/k.v5i1.1077>

Hanum, M. S. (2015). Eksplorasi Limbah Sabut Kelapa (Studi Kasus : Desa Handapherang Kecamatan Cijeunjing Kabupaten Ciamis). In *e-Proceeding of Art & Design* (Vol. 2, pp. 930–938).

Harjanti, R. S. (2014). Kitosan dari Limbah Udang sebagai Bahan Pengawet Ayam Goreng, 8(1), 12–19.

Hashem, A., Abdel-Halim, E. S., El-Tahlawy, K. F., & Hebeish, A. (2005). Enhancement of the adsorption of Co(II) and Ni(II) ions onto peanut hulls through esterification using citric acid. *Adsorption Science and Technology*, 23(5), 367–380. <https://doi.org/10.1260/026361705774355478>

Hashim, M. A., & Chu, K. H. (2004). Biosorption of cadmium by brown, green, and red seaweeds. *Chemical Engineering Journal*, 97, 249–255. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(03\)00216-X](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(03)00216-X)

Haura, U., Razii, F., & Meilina, H. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya pada

- Adsorpsi Logam Pb(II) dan Cr(VI). *Biopropal Industri*, 8(1), 47–54.
- Ho, Y. S., Chiu, W. T., Hsu, C. Sen, & Huang, C. T. (2004). Sorption of lead ions from aqueous solution using tree fern as a sorbent. *Hydrometallurgy*, 73(1–2), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2003.07.008>
- Ho, Y. S., & Ofomaja, A. E. (2006). Pseudo-second-order model for lead ion sorption from aqueous solutions onto palm kernel fiber. *Journal of Hazardous Materials*, 129, 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.020>
- Ifa, L., Nurjannah, N., Aladin, A., Sabara, Z., & Jusoff, K. (2013). Identification of urethane linkage, soft segment polyol and hard segment polyurea in polyuretan from palm oil based polyol. *World Applied Sciences Journal*, 26, 50–54. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.nrrdsi.26009>
- Ifa, La, Adil, A., Faudzal, M., & Nurjannah, N. (2018). PENURUNAN KADAR ASAM LEMAK BEBAS MINYAK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN ADSORBEN (ZEOLIT dan. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 03(2), 8–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.33536/jcpe.v3i2.256>
- Ifa, La, Agus, M. A., Kasmudin, K., & Artiningsih, A. (2019). Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi. *Jurnal Teknik*, 18(02), 109–113.
- Ifa, La, Akbar, M., Ramli, A. F., & Wiyani, L. (2018). PEMANFAATAN CANGKANG KERANG DAN CANGKANG KEPITING SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Cu , Pb dan Zn

PADA LIMBAH INDUSTRI PERTAMBANGAN EMAS.
Journal Of Chemical Process Engineering, 03(01), 33–37.

- Ifa, La, Nurdjannah, Ariska, W. I., & R, T. P. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Bioadsorben Logam Besi dan Timbal Pada Limbah Rumah Sakit. In *Seminar Nasional Teknologi Industri VII 2020* (Vol. VII, pp. 347–352). Makassar.
- Ifa, La, Wiyani, L., Nurdjannah, N., Ghalib, A. M. T., Ramadhaniar, S., & Kusuma, H. S. (2021). Analysis of Bentonite Performance on the Quality of Refined Crude Palm Oil's Color, Free Fatty Acid and Carotene: The Effect of Bentonite Concentration and Contact Time. *Heliyon*, 7(June), e07230. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07230>
- Igwe, J. C., & Abia, A. A. (2006). A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents. *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167–1179. <https://doi.org/10.4314/ajb.v5i11.43005>
- Iler, R. K. (1979). *The Chemistry*. John Wiley & Sons. New York, NY. https://doi.org/10.2991/978-94-6239-246-5_20
- Inglezakis, V. J., Stylianou, M. A., Gkantzou, D., & Loizidou, M. D. (2005). Removal of Pb(II) from aqueous solutions by using clinoptilolite and bentonite as adsorbents. In *Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology* (pp. 357–561). <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.049>
- Inglezakis, V. J., Stylianou, M. A., Gkantzou, D., & Loizidou, M. D. (2007). Removal of Pb(II) from aqueous solutions by using clinoptilolite and bentonite as adsorbents.

Desalination, 210(1-3), 248-256.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.049>

Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(9), 1966-2005.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013>

Irawan, C., Awalia, T. N., & W.P.H, S. U. (2013). Pengurangan Kadar Asam Lemak Bebas (Free Fatty Acid) dan Warna dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Campuran Serabut Kelapa dan Sekam Padi. *Konversi*, 2(2), 77-81.
<https://doi.org/10.20527/k.v2i2.82>

Israel, A. U., Ogali, R. E., Akaranta, O., & Obot, I. B. (2011). Extraction and characterization of coconut (*Cocos nucifera* L.) coir dust. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 33(6), 717-724.

Isroi, Millati, R., Syamsiah, S., Niklasson, C., Cahyanto, M. N., Lundquist, K., & Taherzadeh, M. J. (2011). BIOLOGICAL PRETREATMENT OF LIGNOCELLULOSES WITH WHITE-ROT FUNGI AND ITS APPLICATIONS: A REVIEW. *BioResources*, 6(4), 5224-5259.

Itodo, H. U., & Itodo, A. U. (2010). Surface Coverage and Adsorption Study of Dye Uptake by Derived Acid and Base Treated Mango Seed Shells. *Journal Chemical Pharmacy Resources*, 2(3), 673-683.

Jain, C. K., Malik, D. S., & Yadav, A. K. (2016). Applicability of plant based biosorbents in the removal of heavy metals: a review. *Environmental Processes*, 3(2), 495-523.
<https://doi.org/10.1007/s40710-016-0143-5>

- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Joy, N.-A. B., Richard, K., & Piere, N. J. (2007). Adsorption of palm oil carotene and free fatty acids onto acid activated Cameroonian clays. *Appl. Clay Sci.*, 7(17), 2462–2467.
- Kalavathy, M. H., Karthikeyan, T., Rajgopal, S., & Miranda, L. R. (2005). Kinetic and isotherm studies of Cu(II) adsorption onto H₃PO₄-activated rubber wood sawdust. *Journal of Colloid and Interface Science*, 292(2), 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.05.087>
- Kardiman, K., La Ifa, L. I., & Rasyid, R. (2020). PEMBUATAN ADSORBEN DARI SABUT KELAPA SEBAGAI PENYERAP LOGAM BERAT Pb(II). *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 14(2), 2083–2087. <https://doi.org/10.47398/iltek.v14i2.421>
- Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., & Olama, Z. (2014). Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite. *Energy Procedia*, 50(December), 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>
- Kashi, R. Y., & Widodo, E. (2019). Pengendalian Kualitas Crude Palm Oil (CPO) Dengan Diagram Kontrol Multivariat Exponatially Weighted Moving Avarage (MEWMA). In *Prosiding Seminar Nasional Matematika* (Vol. 2, pp. 848–853).
- Kesavan, T., Partheeban, T., Vivekanantha, M., Kundu, M., Maduraiveeran, G., & Sasidharan, M. (2019). Hierarchical nanoporous activated carbon as potential electrode materials for high performance

- electrochemical supercapacitor. *Microporous and Mesoporous Materials*, 274(July 2018), 236–244.
<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.08.006>
- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., Qamar, Z., & Waqas, M. (2015). The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(18), 13772–13799.
<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4881-0>
- Khan, J. H., Marpaung, F., Young, C., Lin, J., Islam, M. T., Alsheri, S. M., ... Kim, J. (2019). Jute-derived microporous/mesoporous carbon with ultra-high surface area using a chemical activation process. *Microporous Mesoporous Mater*, 274, 251–256.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.07.050>
- Kołodzyńska, D. (2011). Chitosan as an effective low-cost sorbent of heavy metal complexes with the polyaspartic acid. *Chemical Engineering Journal*, 173(2), 520–529.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.025>
- Kondo, Y., & Arsyad, M. (2018). Analisis Kandungan Lignin, Sellulosa, dan Hemisellulosa Serat Sabut Kelapa Akibat Perlakuan Alkali. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 5(2), 94–97.
<https://doi.org/10.31963/intek.v5i2.578>
- Kumano, M., Yabutani, T., Motonaka, J., & Mishima, Y. (2006). Recovery and extraction of heavy metal ions using ionic liquid as green solvent. *International Journal of Modern Physics B*, 20(25–27), 4051–4056.
<https://doi.org/10.1142/s0217979206040842>
- Kumar, G. H., & Kumari, J. P. (2015). Heavy Metal Lead Influutive Toxicity and Its Assessment in Phytoremediating Plants - A Review. *Water, Air, and Soil*

Pollution, 226–324. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2547-7>

Kurnia, J. C., Jangam, S. V., Akhtar, S., Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S. (2016). Advances in biofuel production from oil palm and palm oil processing wastes: A review. *Biofuel Research Journal*, 9(1), 332–346. <https://doi.org/10.18331/BRJ2016.3.1.3>

Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W. hung, & Babel, S. (2006). Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. *Science of the Total Environment*, 366(2–3), 409–426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.10.001>

Lai, Y. L., Thirumavalavan, M., & Lee, J. F. (2010). Effective adsorption of heavy metal ions (Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) from aqueous solution by immobilization of adsorbents on Ca-alginate beads. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 92(4), 697–705. <https://doi.org/10.1080/02772240903057382>

Lamb, D. T., Naidu, R., Ming, H., & Megharaj, M. (2012). Copper phytotoxicity in native and agronomical plant species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 85, 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.08.018>

Larous, S., & Meniai, A. H. (2012). Removal of copper (II) from aqueous solution by agricultural by-products-sawdust. *Energy Procedia*, 18(Ii), 915–923. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.106>

Lee, J. A., Marsden, I. D., & Glover, C. N. (2010). The influence of salinity on copper accumulation and its toxic effects in estuarine animals with differing osmoregulatory strategies. *Aquatic Toxicology*, 99(1), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.04.006>

- Lee, J. Y., Chen, C. H., Cheng, S., & Li, H. Y. (2016). Adsorption of Pb(II) and Cu(II) metal ions on functionalized large-pore mesoporous silica. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(1), 65–76. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0841-y>
- Lee, S. M., Laldawngliana, C., & Tiwari, D. (2012). Iron oxide nano-particles-immobilized-sand material in the treatment of Cu(II), Cd(II) and Pb(II) contaminated waste waters. *Chemical Engineering Journal*, 195–196, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.04.075>
- Leticia, A., Pighinelli, M. T., Gambetta, R., & Agroenergy, E. (2012). Oil Presses. In *Oil Presses* (pp. 33–52). Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/oilseeds/oil-presses>
- Li, C. M., Wang, X. P., Jiao, Z. H., Zhang, Y. S., Yin, X. B., Cui, X. M., & Wei, Y. Z. (2019). Functionalized porous silica-based nano/micro particles for environmental remediation of hazard ions. *Nanomaterials*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/nano9020247>
- Lim, A. P., & Aris, A. Z. (2014). A review on economically adsorbents on heavy metals removal in water and wastewater. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 13(2), 163–181. <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9330-2>
- Lin, S. W. (2002). *VEGETABLE OILS IN FOOD TECHNOLOGY: Composition, Properties and Uses* (FRANK D. G.). Blackwell Publishing.
- Lin, S. W. (2004). Deterioration of bleachability index. *MPOB Information Eries*, 1–2.
- Long, H., Li, X., Wang, H., & Jia, J. (2013). Biomass resources and their bioenergy potential estimation: A review.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.035>

Luo, C., Liu, C., Wang, Y., Liu, X., Li, F., Zhang, G., & Li, X. (2011). Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, south China. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 481–490. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.024>

Malik, D. S., Jain, C. K., Yadav, A. K., Kothari, R., & Pathak, V. V. (2016). Determination of Adsorption Isotherms and Kinetic Parameters for Biosorption of Cu (II) on Raw Pine Needles : An Experimental Study, 17755–17763. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2016.0510037>

Marder, L., Sulzbach, G. O., Bernardes, A. M., & Zoppas Ferreira, J. (2003). Removal of cadmium and cyanide from aqueous solutions through electrodialysis. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 14(4), 610–615. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532003000400018>

Martin, S., & Griswold, W. (2009). Human Health Effects of Heavy Metals. *Environmental Science and Technology Briefs for Citizens*, (15), 1–6. <https://doi.org/10.1515/secm-2014-0078>

Mauchauffée, S., & Meux, E. (2007). Use of sodium decanoate for selective precipitation of metals contained in industrial wastewater. *Chemosphere*, 69(5), 763–768. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.006>

Meena, A. K., Kadirvelu, K., Mishra, G. K., Rajagopal, C., & Nagar, P. N. (2008). Adsorptive removal of heavy metals from aqueous solution by treated sawdust (*Acacia arabica*). *Journal of Hazardous Materials*, 150, 604–611. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.030>

- Melichov, Z., & Hromada, L. (2013). Adsorption of Pb²⁺ and Cu²⁺ ions from aqueous solutions on natural bentonite. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(2), 457–464.
- Menya, E., Olupot, P. W., Storz, H., Lubwama, M., & Kiros, Y. (2018). Production and performance of activated carbon from rice husks for removal of natural organic matter from water: A review. *Chemical Engineering Research and Design*, 129, 271–296. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.11.008>
- Mohamad Nor, N., Lau, L. C., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2013). Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control - A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 658–666. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.09.017>
- Mohammad-Khah, A., & Ansari, R. (2009). Activated charcoal: Preparation, characterization and applications: A review article. *International Journal of ChemTech Research*, 1(4), 859–864.
- Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., & Pittman, C. U. (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent - A critical review. *Bioresource Technology*, 160, 191–202. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120>
- Mohan, D., Sharma, R., Singh, V. K., Steele, P., & Pittman, C. U. (2012). Fluoride removal from water using bio-char, a green waste, low-cost adsorbent: Equilibrium uptake and sorption dynamics modeling. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51(2), 900–914. <https://doi.org/10.1021/ie202189v>

- Morgan, H. M., Bu, Q., Liang, J., Liu, Y., Mao, H., Shi, A., ... Ruan, R. (2017). A review of catalytic microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass for value-added fuel and chemicals. *Bioresource Technology*, 230, 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.059>
- Muhdarina, M., Nurhayati, N., Pahlepi, M. R., Pujiana, Z., & Bahri, S. (2020). Penyiapan Arang Aktif Pelepah Kelapa Sawit sebagai Adsorben Asam Lemak Bebas dari CPO (Crude Palm Oil). *Al-Kimiya*, 7(1), 7–13. <https://doi.org/10.15575/ak.v7i1.6497>
- Mureseanu, M., Cioatera, N., Trandafir, I., Georgescu, I., Fajula, F., & Galarneau, A. (2011). Selective Cu²⁺ adsorption and recovery from contaminated water using mesoporous hybrid silica bio-adsorbents. *Microporous and Mesoporous Materials*, 146(1–3), 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2011.04.026>
- Mustakimah, M., & Suzana, Y. (2021). A review on sustainability and quality of biochar production from oil palm biomass in Malaysia using thermal conversion technology. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 04011, pp. 1–6).
- Naat, J. N., Neolaka, Y. A. B., Lapailaka, T., Rachmat Triandi, T., Sabarudin, A., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2021). Adsorption of Cu(II) and Pb(II) using silica@mercapto (hs@m) hybrid adsorbent synthesized from silica of Takari sand: Optimization of parameters and kinetics. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(1), 550–560. <https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1415803>
- Nadeem, M., Shabbir, M., Abdullah, M. A., Shah, S. S., & McKay, G. (2009). Sorption of cadmium from aqueous solution by surfactant-modified carbon adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 148(2–3), 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.09.010>

- Ndé, H. S., Tamfuh, P. A., Clet, G., Vieillard, J., Mbognou, M. T., & Woumfo, E. D. (2019). Comparison of HCl and H₂SO₄ for the acid activation of a cameroonian smectite soil clay: palm oil discolouration and landfill leachate treatment. *Heliyon*, 5, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02926>
- Ningsih, D. A., & Said, I. (2016). ADSORPSI LOGAM TIMBAL (Pb) DARI LARUTANNYA DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN DARI TONGKOL JAGUNG. *Jurnal Akademika Kimia*, 5(May), 55–60.
- Nirmala, N., Tiwow, V. M. A., & Suherman, S. (2015). Adsorpsi Ion Tembaga (Cu) Dan Ion Besi (Fe) Dengan Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Raja (*Musa sapientum*). *Jurnal Akademika Kimia*, 4(4), 189–196. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2015.v4.i4.7870>
- Noviar, M. H. S., & Rifin, A. (2016). Quality Control System of Crude Palm Oil on Palm Oil Processing Industry (Case Study Bah Jambi Palm Oil Mill, PTPN IV, Medan, North Sumatra). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(7), 101–106. <https://doi.org/Doi 10.1016/J.Bbre.2007.11.025>
- NRT-RRT. (2007). A PPLICATION OF S ORBENTS AND S OLIDIFIERS FOR O IL S PILLS. North Chelmsford, MA.
- Nurhasni, N., Hendrawati, H., & Saniyyah, N. (2014). Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah. *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(1), 36–44. <https://doi.org/10.15408/jkv.v4i1.1074>
- O'Connell, D. W., Birkinshaw, C., & O'Dwyer, T. F. (2008). Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresource*

Technology, 99(15), 6709–6724.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.036>

Ofudje, E. A., Akiode, O. K., Oladipo, G. O., Adedapo, A. E., Adebayo, L. O., & Awotula, A. O. (2015). Application of raw and alkaline-modified coconut shaft as a biosorbent for Pb²⁺ removal. *BioResources*, 10(2), 3462–3480.
<https://doi.org/10.15376/biores.10.2.3462-3480>

Ohga, K., Kurauchi, Y., & Yanase, H. (1987). Adsorption of Cu²⁺ or Hg²⁺ Ion on Resins Prepared by Crosslinking Metal-Complexed Chitosans. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. <https://doi.org/10.1246/bcsj.60.444>

Oktavian, R., Poerwadi, B., Pahleva, M. R., Muharyanto, M. W., & Supriyono, S. (2020). Synthesis and performance assessment of coconut fiber solid adsorbent for waste cooking oil purification as biodiesel feedstock. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 16(3), 374–377.
<https://doi.org/10.11113/mjfas.v16n3.1522>

Olaofe, O., Olagboye, S. A., Akanji, P. S., Adamolugbe, E. Y., Fowowe, O. T., & Olaniyi, A. A. (2015). Kinetic Studies of Adsorption of Heavy Metals on Clays. *International Journal of Chemistry*, 7(1), 1–7.
<https://doi.org/10.5539/ijc.v7n1p48>

Olayebi, O. O., Olagboye, S. A., Olatoye, R. A., & Olufemi, A. S. (2018). Agricultural Waste Adsorbents for Heavy Metals Removal from Wastewater. *Journal of Physical and Chemical Sciences*, 5(2), 1–6.

Onundi, Y. B., Mamun, A. A., Al Khatib, M. F., & Ahmed, Y. M. (2010). Adsorption of copper, nickel and lead ions from synthetic semiconductor industrial wastewater by palm shell activated carbon. *International Journal of*

- Environmental Science and Technology*, 7(4), 751–758.
<https://doi.org/10.1007/BF03326184>
- Onwuliri, V. A., Igwe, C. U., Golu, M. D., & Agha, N. C. (2011). Assessment of the quality of some edible vegetable oils consumed in northern Nigeria. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(7), 897–905.
- Orhan, Y., & Buyukgungor, H. (1993). The removal of heavy metals by using agricultural wastes. *Water Science and Technology*, 28(2), 247–255.
<https://doi.org/10.2166/wst.1993.0114>
- Owolarafe, O. K., Taiwo, E. A., & Oke, O. O. (2008). Effect of processing conditions on yield and quality of hydraulically expressed palm oil. *International Agrophysics*, 22, 349–352.
- Pallarés, J., & González-Cencerrado, Ana Arauzo, I. (2018). Production and characterization of activated carbon from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam. *Biomass Bioenergy*, 115, 64–73.
- Palma, G., Freer, J., & Baeza, J. (2003). Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*, 37(20), 4974–4980.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.08.008>
- Panuccio, M. R., Crea, F., Sorgonà, A., & Cacco, G. (2008). Adsorption of nutrients and cadmium by different minerals: Experimental studies and modelling. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 890–898.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.04.015>
- Papanikolaou, N. C., Hatzidaki, E. G., Belivanis, S., Tzanakakis, G. N., & Tsatsakis, A. M. (2005). Lead toxicity update. A brief review. *Medical Science Monitor*, 11(10).

- Pehlivan, E., Altun, T., & Parlayici, S. (2009). Utilization of barley straws as biosorbents for Cu²⁺ and Pb²⁺ ions. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3), 982-986. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.115>
- Pesavento, M., Profumo, A., Alberti, G., & Conti, F. (2003). Adsorption of lead(II) and copper(II) on activated carbon by complexation with surface functional groups. *Analytica Chimica Acta*, 480(1), 171-180. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)01597-0](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)01597-0)
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, a N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Reserarch*, 12, 183-189.
- Prasetyo, K., Azis, Y., & Komalasari. (2018). ADSORPSI LOGAM Cd, Cu DAN Pb DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBAN, HIDROKSIAPATIT (HA) SEBAGAI. *Teknik*, 5(2), 1-4.
- Priadi, C. R., Anita, Sari, P. N., & Moersidik, S. S. (2014). ADSORPSI LOGAM SENG DAN TIMBAL PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI. *Reaktor*, 15(1), 10-19. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.1.10-19>
- Priatni, A., Fauziati, F., & Adingsih, Y. (2017). THE EXTRACTION CAROTENOID OF CRUDE PALM OIL BY DIETHYL ETHER AND ACETON AS SOLVENT. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 11(2), 91-99. <https://doi.org/10.26578/jrti.v11i2.3014>
- Purwanto, A., Yusmaniar, Ferdiani, F., & Damayanti, R. (2017). Synthesis and adsorption of silica gel modified 3-aminopropyltriethoxysilane (APTS) from corn cobs against Cu(II) in water. *AIP Conference Proceedings*, 1823(March 2017), 1-9. <https://doi.org/10.1063/1.4978105>

- Purwasasmita, M., Nabu, E. B. P., Khoiruddin, & Wenten, I. G. (2015). Non dispersive chemical deacidification of crude palm oil in hollow fiber membrane contactor. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(4), 426–446.
<https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.4.6>
- Putranti, M. L. T. A., Wirawan, S. K., & Bendiyasa, I. M. (2018). Adsorption of Free Fatty Acid (FFA) in Low-Grade Cooking Oil Used Activated Natural Zeolite as Adsorbent. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 299, pp. 1–9).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/299/1/012085>
- Rahayu, L. H., Purnavita, S., & Sriyana, H. Y. (2014). POTENSI SABUT DAN TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MEREGENERASI MINYAK jelantah. *Momentum*, 10(1), 47–53.
- Rahmadani, Susanti, D., Soripada, T. A., & Silaban, R. (2011). Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Cangkang Bekicot Sebagai Adsorban Logam Tembaga. *Jurnal Kimia*, 1–7.
- Rashed, M. N. (2006). Fruit stones from industrial waste for the removal of lead ions from polluted water. *Environmental Monitoring and Assessment*, 119(1–3), 31–41. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9002-y>
- Rashidi, N. A., & Yusup, S. (2018). Production of palm kernel shell-based activated carbon by direct physical activation for carbon dioxide adsorption. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 1–15.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1903-8>
- Rezvani-boroujeni, A., Javanbakht, M., Karimi, M., & Akbari-adergani, B. (2017). Adsorption Properties of Thiol-Functionalized Silica Nanoparticles Prepared for Application in Poly(ether sulfone) Nanocomposite

Membranes. *Journal of Textiles and Polymers*, 5(1), 37–47. Retrieved from <https://iranjournals.nlai.ir/bitstream/handle/123456789/72402/176DCB8917A6C840614BAF39CA581185.pdf?sequence=-1>

Riaz, M., Nadeem, R., Hanif, M. A., Ansari, T. M., & Rehman, K. ur. (2009). Pb(II) biosorption from hazardous aqueous streams using *Gossypium hirsutum* (Cotton) waste biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 161(1), 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.096>

Ribeiro, J. A. A., Almeida, E. S., Neto, B. A. D., Abdelnur, P. V., & Monteiro, S. (2018). Identification of carotenoid isomers in crude and bleached palm oils by mass spectrometry. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 631–637. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.039>

Riyadi, A. H., Muchtadi, T. R., Andarwulan, N., & Haryati, T. (2016). Pilot Plant Study of Red Palm Oil Deodorization Using Moderate Temperature. In *Agriculture and Agricultural Science Procedia* (Vol. 9, pp. 209–216). Elsevier Srl. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.129>

Rochmah, V., Prasetya, A. T., & Sulistyaningsih, T. (2017). Adsorpsi Ion Logam Pb 2 + Menggunakan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Mahoni. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2), 168–172.

Rouquerol, F., Rouquerol, J., Sing, K. S. W., Llewellyn, P., & Maurin, G. (1999). *Adsorption by Powders and Porous Solids*. Academic Press (Second Edi). San Diego, CA.

Rzepa, G., Bajda, T., & Ratajczak, T. (2009). Utilization of bog iron ores as sorbents of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2–3), 1007–1013. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.135>

- Safrianti, I., Wahyuni, N., & Zaharah, T. A. (2012). ADSORPSI TIMBAL (II) OLEH SELULOSA LIMBAH JERAMI PADI TERAKTIVASI ASAM NITRAT: PENGARUH pH DAN WAKTU KONTAK. *JKK*, 1(2002), 1–7.
- Salman, J. M., Njoku, V. O., & Hameed, B. H. (2011). Batch and fixed-bed adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid onto oil palm frond activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.024>
- Samiey, B., Cheng, C. H., & Wu, J. (2014). Organic-inorganic hybrid polymers as adsorbents for removal of heavy metal ions from solutions: A review. *Materials*, 7(2), 673–726. <https://doi.org/10.3390/ma7020673>
- Sampaio, K. A., Ceriani, R., Silva, S. M., Taham, T., & Meirelles, A. J. A. (2011). Steam deacidification of palm oil. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.012>
- Sari, R. M., Gea, S., Wirjosentono, B., Hendrana, S., & Torres, F. G. (2021). Case Studies in Thermal Engineering The effectiveness of coconut coir as tar adsorbent in liquid smoke integrated into the pyrolysis reactor. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100907>
- Sashiwa, H., Saimoto, H., Shigemasa, Y., Ogawa, R., & Tokura, S. (1991). Distribution of the acetamide group in partially deacetylated chitins. *Carbohydrate Polymers*, 16(3), 291–296. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(91\)90114-R](https://doi.org/10.1016/0144-8617(91)90114-R)
- Sethu, V. S., Goey, K. S., Iffah, F. R., Khoo, C. M., & Andresen, J. M. (2010). Adsorption characteristics of Cu (II) ions in aqueous solutions using *Mangifera indica* (mango) leaf

- biosorbents. *Journal of Environmental Research and Development*, 5(2), 262–278.
- Shaheen, S. M., Derbalah, A. S., & Moghanm, F. S. (2012). Removal of heavy metal from aqueous solution by zeolite. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 4, 3(4), 362–367.
- Shawabkeh, R. A., Rockstraw, D. A., & Bhada, R. K. (2002). Copper and strontium adsorption by a novel carbon material manufactured from pecan shells. *Carbon*, 40, 781–786. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00198-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00198-1)
- Shawabkeh, R., Al-Harabsheh, A., & Al-Otoom, A. (2004). Copper and zinc sorption by treated oil shale ash. *Separation and Purification Technology*, 40(3), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.03.006>
- Shriver, & Atkins. (1990). *Inorganic Chemistry* (5nd ed.). New York, NY. Retrieved from <http://www.amazon.co.uk/Shriver-Atkins-Inorganic-Chemistry-Peter/dp/0199236178>
- Shukla, A., Zhang, Y.-H., Dubey, P., Margrave, J. ., & Shukla, S. S. (2002). The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. *Journal of Hazardous Materials*, B95, 137–152. <https://doi.org/10.1017/S0017089504001740>
- Shukla, S. R., Pai, R. S., & Shendarkar, A. D. (2006). Adsorption of Ni(II), Zn(II) and Fe(II) on modified coir fibres. *Separation and Purification Technology*, 47(3), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.06.014>
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verh, R., Stevens, C., Greyt, W. De, & Meirelles, A. J. A. (2014). Effect of type of

- bleaching earth on the final color of refined palm oil. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 1258–1264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.028>
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., De Greyt, W., & Meirelles, A. J. A. (2013). Adsorption of carotenes and phosphorus from palm oil onto acid activated bleaching earth: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of Food Engineering*, 118, 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.026>
- Soetaredjo, F. E., Laysandra, L., Putro, J. N., Santoso, S. P., Angkawijaya, A. E., Yuliana, M., ... Ismadji, S. (2021). Ecological-safe and low-cost activated-bleaching earth: Preparation, characteristics, bleaching performance, and scale-up production. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123793. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123793>
- Souundarrajan, M., Gomathi, T., & Sudha, P. (2012). Adsorptive removal of chromium (VI) from aqueous solutions and its kinetics study. *Archives of Applied ...*, 4(1), 225–235. Retrieved from <http://scholarsresearchlibrary.com/aasr-vol4-iss1/AASR-2012-4-1-225-235.pdf>
- Stavropoulos, G. G., & Zabaniotou, A. A. (2005). Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. *Microporous and Mesoporous Materials*, 82(1–2), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2005.03.009>
- Steudel, A., Batenburg, L. F., Fischer, H. R., Weidler, P. G., & Emmerich, K. (2009). Alteration of swelling clay minerals by acid activation. *Applied Clay Science*, 44(1–2), 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.02.002>

- Sud, D., Mahajan, G., & Kaur, M. P. (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions - A review. *Bioresource Technology*, 99(14), 6017–6027. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.064>
- Sudamalla, P., Matheswaran, M., & Saravanan, P. (2012). Optimization of operating parameters using response surface methodology for adsorption of crystal violet by activated carbon prepared from mango kernel. *Sustainable Environment Research*, 22(1), 1–7.
- Sulaymon, A. H., Abid, B. A., & Al-Najar, J. A. (2009). Removal of lead copper chromium and cobalt ions onto granular activated carbon in batch and fixed-bed adsorbers. *Chemical Engineering Journal*, 155(3), 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.08.021>
- Sun, G., & Shi, W. (1998). Sunflower Stalks as Adsorbents for the Removal of Metal Ions from Wastewater. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 37(4), 1324–1328. <https://doi.org/10.1021/ie970468j>
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. (2011). INFO TEKNIK, Volume 12 No. 1, Juli 2011. *Info Teknik*, 12(1), 11–20.
- Taha, K. K., Suleiman, T. M., & Musa, M. A. (2011). Performance of Sudanese activated bentonite in bleaching cottonseed oil. *Journal of the Bangladesh Chemical Society*, 24(2), 191–201. <https://doi.org/10.3329/jbcs.v24i2.9708>
- Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., & Hameed, B. H. (2008). Optimization of preparation conditions for activated carbons from coconut husk using response surface methodology. *Chemical Engineering Journal*, 137(3), 462–470. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.04.031>

- Tian, G., Wang, W., Mu, B., Kang, Y., & Wang, A. (2015). Facile fabrication of carbon/attapulgitite composite for bleaching of palm oil. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50, 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.12.021>
- Tirtom, V. N., Dinçer, A., Becerik, S., Aydemir, T., & Çelik, A. (2012). Removal of lead (II) ions from aqueous solution by using crosslinked chitosan-clay beads. *Desalination and Water Treatment*, 39(1–3), 76–82. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.669161>
- Trisnawati, E., Andesti, D., & Saleh, A. (2013). Pembuatan Kitosan dari Limbah Cangkang Kepiting sebagai Bahan Pengawet Buah Duku dengan Variasi Lama Pengawetan. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(2), 17–26.
- Trivunac, K., & Stevanovic, S. (2006). Removal of heavy metal ions from water by complexation-assisted ultrafiltration. *Chemosphere*, 64(3), 486–491. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.11.073>
- Tsai, W. ., Chang, C. ., & Lee, S. . (1997). Preparation and Characterization of Activated Carbons from corn cob. *Carbon*, 35, 198–200. [https://doi.org/10.1016/s0008-6223\(97\)84654-4](https://doi.org/10.1016/s0008-6223(97)84654-4)
- Usman, M. A., Ekwueme, V. I., Alaje, T. O., & Mohammed, A. O. (2012). Characterization, Acid Activation, and Bleaching Performance of Ibeshe Clay, Lagos, Nigeria. *ISRN Ceramics*, 2012, 1–5. <https://doi.org/10.5402/2012/658508>
- Vafakhah, S., Bahrololoom, M. E., Bazarganlari, R., & Saeedikhani, M. (2014). Removal of copper ions from electroplating effluent solutions with native corn cob and corn stalk and chemically modified corn stalk.

Journal of Environmental Chemical Engineering, 2(1), 356–361. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.01.005>

Vaggetti, J. C. P., Lima, E. C., Royer, B., da Cunha, B. M., Cardoso, N. F., Brasil, J. L., & Dias, S. L. P. (2009). Pecan nutshell as biosorbent to remove Cu(II), Mn(II) and Pb(II) from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.039>

Varghese, L. R., & Das, N. (2015). Application of nano-biocomposites for remediation of heavy metals from aqueous environment: An overview. *International Journal of ChemTech Research*, 8(2), 566–571.

Vaughan, T., Seo, C. W., & Marshall, W. E. (2001). Removal of selected metal ions from aqueous solution using modified corncobs. *Bioresource Technology*, 78(2), 133–139. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00007-4)

Veglio', F., & Beolchini, F. (1997). Removal of metals by biosorption: A review. *Hydrometallurgy*, 44(3), 301–316. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(96\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(96)00059-X)

Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27(2), 195–226. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>

Wei, P. C., May, C. Y., Ngan, M. A., & Hock, C. C. (2004). Degumming and Bleaching: Effect on Selected Constituents of Palm Oil. *Journal of Oil Palm Research*, 16(2), 57–63.

Widayat, Suherman, & Haryani, K. (2006). Optimasi proses Adsorpsi Minyak Goreng Bekas dengan Adsorbent Zeolit Alam: Studi Pengurangan Bilangan Asam. *Jurnal Teknik Gelagar*, 17(01), 77–82.

- Yan, Z., Fu, L., Yang, H., & Ouyang, J. (2018). Amino-functionalized hierarchical porous SiO₂-AlOOH composite nanosheets with enhanced adsorption performance. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 1090–1100.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.058>
- Yang, R. T. (2003). *Fundamentals and Applications Plasmonics: Fundamentals and Applications*. Physics. New York: A JOHN WILEY & SONS, INC.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.020>
- Yusmaniar, Purwanto, A., Putri, E. A., & Rosyidah, D. (2017). Adsorption of Pb(II) using silica gel composite from rice husk ash modified 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES)-activated carbon from coconut shell. In *AIP Conference Proceedings* (pp. 1–8).
<https://doi.org/10.1063/1.4978107>
- Yusmaniar, Y., Darwis, D., Afrizal, A., & Annisa, A. (2018). Synthesis of silica of rice husk modification (3-aminopropyl) triethoxysilane for adsorption methylene blue. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 197, pp. 1–4).
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201819709009>
- Yustinah, & Rahayu, R. . A. N. (2014). Pengaruh Lama Proses Adsorpsi terhadap Penurunan Kadar Asam Lemak Bebas (FFA) dan Bilangan Peroksida (PV) pada Minyak Sawit Mentah (CPO) menggunakan Bioadsorben dari Enceng Gondok. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 6(2), 131–136.
- Zaini, H., & Sami, M. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) dalam Air Limbah Laboratorium Kimia menggunakan Sistem Komom dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. In *Teknik Kimia* (pp. 1–9).

- Zhang, Y., Lei, H., Yang, Z., Qian, K., & Villota, E. (2018). Renewable High-Purity Mono-Phenol Production from Catalytic Microwave-Induced Pyrolysis of Cellulose over Biomass-Derived Activated Carbon Catalyst. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(4), 5349–5357.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b00129>
- Zhu, J., Zhang, P., Wang, Y., Wen, K., Su, X., Zhu, R., ... Xi, Y. (2018). Effect of acid activation of palygorskite on their toluene adsorption behaviors. *Applied Clay Science*, 159, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.07.019>
- Zhu, W., Wang, J., Wu, D., Li, X., Luo, Y., Han, C., ... He, S. (2017). Investigating the Heavy Metal Adsorption of Mesoporous Silica Materials Prepared by Microwave Synthesis. *Nanoscale Research Letters*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2070-4>
- Zhuravlev, L. T. (2000). The surface chemistry of amorphous silica. Zhuravlev model. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 173, 1–38. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(00\)00556-2](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00556-2)
- Zulkali, M. M. D., Ahmad, A. L., & Norulakmal, N. H. (2006). *Oryza sativa* L. husk as heavy metal adsorbent: Optimization with lead as model solution. *Bioresource Technology*, 97(1), 21–25. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.007>

BAB 3 | PEMBUATAN ADSORBEN

3.1 Tahapan Pembentukan Arang dari Kayu (FAO, 1985)

Saat kayu dipanaskan dalam retort, kayu melewati tahapan tertentu dalam perjalanan untuk diubah menjadi arang. Pembentukan arang di bawah kondisi laboratorium telah dipelajari dan tahap-tahap berikut dalam proses konversi lampau

- pada 20 hingga 110°C

Kayu menjerap panas saat dikeringkan menghilangkan kelembabannya seperti uap air (steam). Suhu tetap pada atau sedikit di atas 100 °C sampai kayu kering.

- pada 110 hingga 270 °C

Jejak air terakhir keluar dan kayu mulai membusuk melepaskan beberapa karbon monoksida, karbon dioksida, asam asetat dan metanol. Panas dijerap.

- pada 270 hingga 290°C

Ini adalah titik di mana dekomposisi eksotermis kayu dimulai. Panas berkembang dan kerusakan

berlanjut secara spontan asalkan kayu tidak didinginkan di bawah suhu dekomposisi ini. Campuran gas dan uap terus dikeluarkan bersama dengan beberapa tar.

- pada 290 hingga 400 °C

Saat kerusakan struktur kayu berlanjut, uap yang dikeluarkan terdiri dari gas yang mudah terbakar: karbon monoksida, hidrogen, dan metana bersama dengan gas karbon dioksida dan uap yang dapat terkondensasi: air, asam asetat, metanol, aseton, dan lain lain. dan tar yang mulai mendominasi saat suhu naik.

- pada suhu 400 hingga 500 °C

Pada suhu 400 °C, transformasi kayu menjadi arang dapat dilakukan secara praktis lengkap. Arang pada suhu ini masih mengandung tar dalam jumlah yang cukup besar, mungkin 30% berat terperangkap dalam struktur. Arang lunak yang terbakar ini membutuhkan pemanasan lebih lanjut untuk menghilangkan lebih banyak tar dan dengan demikian meningkatkan kandungan karbon tetap dari arang menjadi sekitar 75% yang normal untuk arang komersial berkualitas baik. Untuk menghilangkan tar ini, arang dikenai masukan panas lebih lanjut hingga 0 menaikkan

sehingga menjadi sekitar 500°C, sehingga menyelesaikan tahap karbonisasi.

3.2 Pembuatan KA dari Biomassa

Ada dua proses utama untuk mengubah biomassa menjadi KA: pirolisis dan aktivasi. Hasil dan sifat KA yang dihasilkan dari pirolisis dan aktivasi biomassa bervariasi dengan parameter pemrosesan, seperti teknologi pretreatment, proses pengaktifan, suhu reaksi dan teknologi pemanasan, yang dibahas pada bagian ini.

Pirolisis merupakan reaksi endotermik (Frassoldati *et al.*, 2006) yang mengubah biomassa menjadi bahan bakar cair, gas, dan padat tanpa adanya oksigen melalui pemanasan (Harris, Gaskin, Cabrera, Miller, & Das, 2013). Tergantung pada kondisi operasi, rasio distribusi produk cair, padat, dan gas yang diperoleh dari pirolisis berbeda. Produk padat diperoleh sebagai produk sampingan dari pirolisis dan dikenal sebagai bio-char, bahan yang berpori (Arami-Niya *et al.*, 2012).

Parameter operasi, terutama suhu, merupakan elemen penting dalam menentukan kualitas dan kuantitas arang padat dalam produksinya. Persentase hasil arang padat menurun dengan meningkatnya suhu

dan laju pemanasan. Waktu tinggal gas yang lebih kecil, suhu yang lebih rendah, dan laju pemanasan yang lebih tinggi mendukung produksi produk cair, sedangkan waktu tinggal gas yang lebih lama, suhu yang lebih tinggi, dan laju pemanasan yang lebih rendah mendukung pembentukan produk gas. Selain kondisi operasi, kandungan air pada pakan biomassa terbukti berpengaruh terhadap distribusi produk dari pirolisis. Kadar air yang lebih tinggi dalam hasil biomassa dalam pengurangan produk gas dan padat (Jahirul, Rasul, Chowdhury, & Ashwath, 2012).

Pirolisis adalah salah satu teknologi yang paling ekonomis dan menjanjikan mengubah biomassa biomassa padat menjadi cair (*bio-oil*), gas, dan padat (Gao, Yang, Qin, & Sun, 2016). *Bio-oil* disebut dengan berbagai istilah untuk produk cair yang disajikan dalam literatur termasuk cairan kayu (Oramahi, Yoshimura, Diba, Setyawati, & Nurhaida, 2018), *pyroligneous acid* (Pimenta, Fasciotti, Monteiro, & Lima, 2018), distilat pirolisis (Barbero-López *et al.*, 2019), asap cair, (La Ifa, Nurdjannah, Ramadhana, Sayudi, & Rusnaenah, 2021). (Abustam, Said, & Yusuf, 2018; Aisyah, Sinaga, Nawangsih, Giyanto, & Pari, 2018; Budaraga, Marlida, & Bulanin, 2016; Hadanu & Apituley, 2016; La Ifa, Sabara, *et al.*, 2018; La Ifa, Yani, *et al.*, 2018; Kailaku, Syakir,

Mulyawanti, & Syah, 2017; Lombok, Setiaji, Trisunaryati, & Wijaya, 2014; Maryam, 2015; Maulina & Silia, 2018; Qomariyah, Retnani, Jayanegara, Wina, & Permana, 2019; Rakhmayeni, Yuniarti, & Sukarno, 2020; Y. P. Sari, Samharinto, & Langai, 2018; Surboyo, Arundina, Rahayu, Mansur, & Bramantoro, 2019; Swastawati, Al-Baari, Susanto, & Purnamayati, 2019; Tarawan, Mantilidewi, Dhini, Radhiyanti, & Sutedja, 2017; Wagiman, Ardiansyah, & Witjaksono, 2014), minyak-bahan bakar-bio, minyak kayu, sulingan kayu, (Boer, Valette, Commandré, Fournier, & Thévenon, 2020; Ozbay & Ayrimis, 2017) Bahan penyusun asap cair diperoleh dari reaksi degradasi termal selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Beker *et al.*, 2016; Hadanu & Apituley, 2016; Kailaku *et al.*, 2017).

Konversi biomassa menjadi KA biasanya terhambat karena sifat *intractability* yang melekat karena struktur kompleks dan variabel sifat fisikokimia (Blanch, Simmons, & Klein-Marcuschamer, 2011). Komponen kimia dan struktur permukaan bahan baku biomassa memainkan peran penting pada sifat berpori dari KA yang dihasilkan (Guotao Sun, Qiu, Zhu, Kang, & Guo, 2018).

Proses aktivasi adalah untuk meningkatkan sifat pori dan situs yang diaktifkan dari KA. Aktivasi biomassa dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu aktivasi fisika dan kimia. Dalam aktivasi kimia, pertama, bahan baku biomassa dicampur dengan reagen aktivasi kimia. Reagen aktivasi yang umum adalah H_3PO_4 , $NaOH$ dan $ZnCl_2$, HCl , H_2SO_4 dan sebagainya. Fungsi utama reagen kimia adalah mendegradasi atau mendehidrasi komponen organik selama proses aktivasi untuk menekan depolimerisasi hidrokarbon pada permukaan karbon (Mohammad-Khah & Ansari, 2009).

Keuntungan terbesar dari metode aktivasi kimia adalah bahwa hal itu dapat dilakukan dalam satu langkah pada suhu yang lebih rendah (M. M. S. Ali *et al.*, 2014). Selain itu, aktivasi kimia merupakan proses yang ekonomis dan ramah lingkungan karena reagen kimia dapat diperoleh kembali dan didaur ulang (Tsai *et al.*, 1997).

Metode aktivasi kimia dipengaruhi oleh jenis reagen kimia, rasio impregnasi, suhu aktivasi dan waktu reaksi (Ayinla *et al.*, 2019). Umumnya, permukaan KA mengandung banyak gugus fungsi, yang sebagian besar merupakan situs teraktivasi asam menurut berbagai

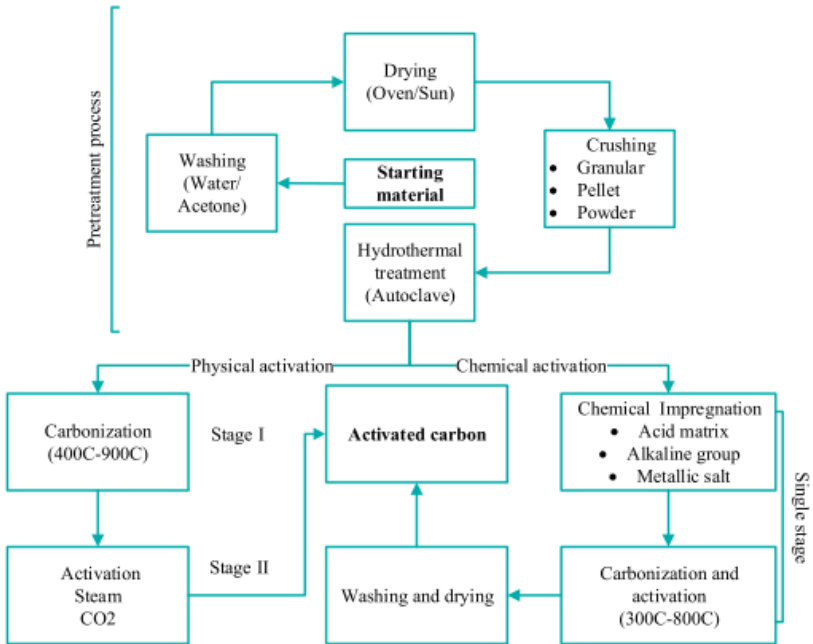
agen aktivasi kimia. Situs teraktivasi asam ini kondusif untuk menjadikan KA sebagai penukar ionik untuk mencapai interaksi spesifik (Bandosz & Ania, 2006). Kondisi preparasi KA yang optimal bermanfaat untuk menekan pembentukan tar dan produk lain yang tidak diinginkan selama proses aktivasi kimia.

Aktivasi fisik merupakan proses dua tahap, yaitu proses karbonisasi dan aktivasi. Bahan pirolisis pertama-tama dikarbonisasi pada suhu target (300–800 °C) dengan beberapa gas pengoksidasi seperti CO₂, uap atau campurannya. Setelah karbonisasi, proses aktivasi dilakukan pada suhu tinggi 600–900 °C (Ioannidou & Zabaniotou, 2007). Pada proses pertama langkah karbonisasi, beberapa ikatan struktur BL retak, yang mengarah ke generasi produk volatil. Struktur aromatik karbon dapat dibentuk pada prekursor KA yang dihasilkan, yang memiliki fitur berpori yang tidak berkembang. Sementara itu, volatil yang dihasilkan dapat menyebabkan penyumbatan atau pengisian pori-pori melalui reaksi repolimerisasi dan kondensasi. Oleh karena itu, tujuan utama dari langkah pertama adalah mengubah bahan baku pirolisis menjadi arang. Namun, prekursor KA yang dihasilkan dengan sifat yang buruk, yang membatasi aplikasi praktisnya (Nizamuddin, Shrestha, Athar, Ali, & Siddiqui, 2016).

Pada proses kedua langkah aktivasi, struktur berpori (luas permukaan spesifik dan sifat pori) KA dapat ditingkatkan dengan menghilangkan produk yang tidak diinginkan pada prekursor KA (Pallarés & González-Cencerrado, Ana Arauzo, 2018). Hal ini dapat dicapai dengan gas yang sesuai, seperti CO₂, uap atau campurannya. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa CO₂ menunjukkan kinerja yang sangat baik untuk memberikan pengendalian yang memadai dan menghasilkan hasil yang lebih jelas karena bersih, laju reaksi lambat, reaktif rendah pada suhu tinggi (ZHANG *et al.*, 2004).

Proses aktivasi kimia lebih cocok untuk preparasi KA karena merupakan proses yang menghemat waktu jika dibandingkan dengan proses aktivasi fisik. Selain itu, metode aktivasi kimia mengkonsumsi lebih sedikit energi karena dapat dilakukan pada suhu yang relatif lebih rendah daripada aktivasi fisik. Namun, dari perspektif skala industri, aktivasi fisik lebih diinginkan karena dapat mencapai optimalisasi langkah karbonisasi melalui pengoperasian yang mudah untuk meningkatkan sifat berpori, serta menghilangkan bahan kimia yang diperlukan, mengurangi biaya pemrosesan dan polusi (Pallarés & González-Cencerrado, Ana Arauzo, 2018). Diagram alir preparasi karbon aktif

dengan aktivasi fisik dan kimia disajikan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Diagram Alir Preparasi Karbon Aktif dengan Aktivasi Fisik dan Kimia(Ayinla *et al.*, 2019)

3.4 Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif dapat dibuat dari batubara, kayu, dan tempurung kelapa melalui proses *pyrolyzing* dan *carburizing* pada temperatur 700 sampai 800 °C. Bahan terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari langsung untuk mengurangi kadar air sebelum pirolisis (FAO, 1985) dan untuk menghemat biaya energi yang

digunakan (Onchieku, Chikamai, & Rao, 2012). Dibandingkan dengan proses pengeringan mekanis lainnya, pengeringan dengan sinar matahari merupakan proses yang paling sederhana dan termurah untuk pengeringan biomassa. Namun demikian, pengeringan mekanis merupakan satu-satunya cara untuk menghilangkan biomassa di musim hujan (Sen, Wiwatpanyaporn, & Annachhatre, 2016).

Proses manufaktur modern pada dasarnya melibatkan langkah-langkah berikut: persiapan bahan baku, karbonisasi suhu rendah, dan aktivasi. Kondisi dikontrol dengan hati-hati untuk mencapai struktur pori dan kekuatan mekanik yang diinginkan. Bahan baku karbon aktif adalah bahan berkarbon seperti kayu, gambut, batu bara, kokas minyak bumi, tulang, tempurung kelapa, dan buah-buahan. Batubara antrasit dan bituminus telah menjadi sumber utama. Dimulai dengan pori-pori awal yang ada dalam bahan baku, lebih banyak pori-pori, dengan distribusi ukuran yang diinginkan, dibuat oleh apa yang disebut proses aktivasi (Yang, 2003).

Biochar adalah arang yang terbuat dari bahan kaya karbon (biomassa). Perkembangan terbaru dalam teknologi bioenergi terbaru memungkinkan untuk mengubah biomassa limbah, misalnya limbah pertanian,

menjadi biochar yang bernilai tambah dan pada saat yang sama menghasilkan bioenergi (Dong, Ma, & Li, 2011). Di negara pertanian mana pun negara tropis seperti Indonesia, Nigeria, akumulasi bahan limbah selalu menjadi salah satu produk sampingan dari kegiatan pertanian. Penggunaan produk sampingan pertanian tersebut telah diubah menjadi bentuk yang dapat digunakan. Produksi biochar dari biomassa limbah yang berbeda telah membantu mengurangi biaya yang terlibat dalam pembuangan limbah dan memberikan alternatif yang berpotensi murah untuk karbon aktif komersial (Amuda *et al.*, 2013).

Dua metode aktivasi standar digunakan: gas dan kimia. Setelah perlakuan awal dan pelet, aktivasi gas pertama-tama melibatkan karbonisasi pada 400–500 °C untuk menghilangkan sebagian besar materi yang mudah menguap, dan kemudian gasifikasi parsial pada 800–1000 °C untuk mengembangkan porositas dan luas permukaan. Proses aktivasi biasanya dilakukan pada unggun tetap, tetapi dalam beberapa tahun terakhir unggun terfluidisasi juga telah digunakan. Karbon aktif yang dihasilkan oleh proses aktivasi digunakan terutama untuk proses adsorpsi gas dan uap. Proses aktivasi lain yang juga digunakan secara komersial tergantung pada aksi aditif anorganik untuk

mendegradasi dan mengeringkan bahan selulosa dan, secara bersamaan, untuk mencegah penyusutan selama karbonisasi. Ini disebut aktivasi kimia, biasanya digunakan untuk prekursor berbasis lignin seperti serbuk gergaji. Lignin, biasanya bahan baku yang dicampur dengan aktivator seperti asam fosfat, seng klorida, kalium sulfida, atau kalium tiosianat, dikarbonisasi pada suhu antara 500 hingga 900 °C (Yang, 2003).

3.4.1 Teknologi Konversi Biomassa

Sejumlah skema konversi telah dikembangkan untuk memanfaatkan sifat pakan biomassa dan ditinjau (Mohan, Pittman, & Steele, 2006). Baik metode biologis (pencernaan anaerobik, hidrolisis dan fermentasi) dan termal (pembakaran, pirolisis, pencairan, torrifaksi, dan gasifikasi) digunakan untuk konversi biomassa menjadi bahan bakar dan produk sampingan. Hanya proses termal untuk menghasilkan karakter adsorben yang dibahas di sini. Biochar dari perlakuan termal juga memiliki densitas energi yang tinggi (biasanya >28 kJ/g).

3.4.2 Prolisis Biomassa

Pirolisis adalah dekomposisi termal bahan tanpa

adanya oksigen atau ketika oksigen secara signifikan lebih sedikit daripada yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna (Gambar 3.2, Tabel 3.1). Pirolisis harus dibedakan dari gasifikasi di mana biomassa direaksikan dengan uap, atau udara. Gasifikasi mengubah biomassa menjadi syngas dengan mengontrol jumlah oksigen yang ada. Pirolisis mencakup berbagai proses dekomposisi termal dan sulit untuk didefinisikan secara tepat. Literatur yang lebih tua menyamakan pirolisis dengan karbonisasi dimana arang adalah produk utama (Gambar. 3.2, Tabel 3.1). Saat ini, pirolisis sering menggambarkan proses di mana cairan (*bio-oil*) adalah produk yang disukai. Produksi cairan disukai dalam waktu pirolisis yang singkat (pirolisis cepat). Pirolisis konvensional (lambat) atau cepat (*flash*) tergantung pada kondisi operasi yang digunakan (suhu, laju pemanasan dan waktu tinggal uap) (Mohan *et al.*, 2006).

Pirolisis lambat telah digunakan selama ribuan tahun untuk menghasilkan arang. Pengetahuan produksi dan properti arang yang terakumulasi selama 38 milenium terakhir telah ditinjau (Antal & Grønli, 2003). Biomassa

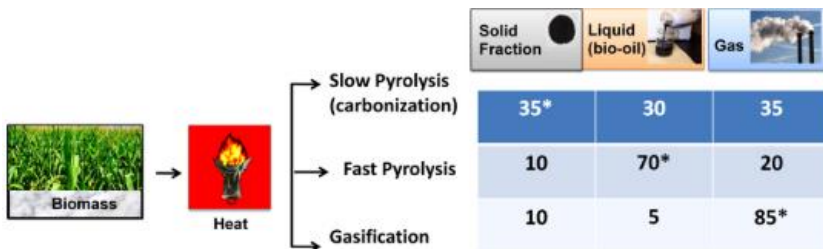
dipanaskan perlahan hingga sekitar 500 °C tanpa adanya udara. Waktu tinggal uap bervariasi dari 5 hingga 30 menit. Uap dalam pirolisis konvensional tidak keluar dengan cepat tidak seperti dalam pirolisis cepat. Pirolisis cepat membutuhkan bahan baku kering (kelembaban <10% berat), perpindahan panas cepat, peningkatan suhu yang cepat dengan memanaskan partikel biomassa kecil (1–2 mm) hingga 400–500 °C dan waktu tinggal uap 1 detik (maksimum 5 detik).

Pirolisis cepat berbeda secara fundamental dari pirolisis lambat. Pirolisis cepat dilakukan di bawah kondisi operasi suhu yang lebih tinggi, laju transfer yang lebih tinggi, umpan halus, waktu tinggal uap yang singkat, dan pendinginan uap pirolisis yang cepat (Demirbas dan Arin 2002, Tsai *et al.* 2006) dan mendukung produksi produk cair. Umumnya, hingga 75% biomassa kering diubah menjadi bio-minyak; 15–25%, menjadi arang; dan 10–20%, menjadi produk gas dengan menggunakan proses pirolisis cepat (Jahirul *et al.*, 2012). Namun, *bio-oil* memiliki beberapa keterbatasan teknologi seperti korosif minyak, keberadaan padatan dalam minyak, stabilitas termal yang lebih rendah, produksi air, viskositas

yang lebih tinggi, dan konsentrasi alkali yang lebih tinggi dalam *bio-oil* (Cornelissen *et al.*, 2008).

Gasifikasi menghasilkan bahan bakar gas yang dapat digunakan untuk pembangkitan panas langsung atau pembangkit listrik. Gasifikasi adalah pembakaran parsial padatan. Campuran produk (gas, cair dan padat) dikendalikan dengan mengubah suhu, ukuran partikel, waktu tinggal, tekanan, komposisi gas di mana biomassa diperlakukan dan identitas katalis jika digunakan. Brewer, Schmidt-Rohr, Satrio, & Brown, (2009) mengkarakterisasi karakter dari pirolisis cepat dan gasifikasi switchgrass dan brangkasan jagung (Brewer *et al.*, 2009). Aromatisitas arang yang lebih tinggi diperoleh pada pirolisis lambat daripada pirolisis cepat atau gasifikasi. Ukuran senyawa cincin aromatik yang menyatu dalam karakter pirolisis cepat dan lambat adalah serupa sedangkan arang gasifikasi lebih terkondensasi (Brewer *et al.*, 2009).

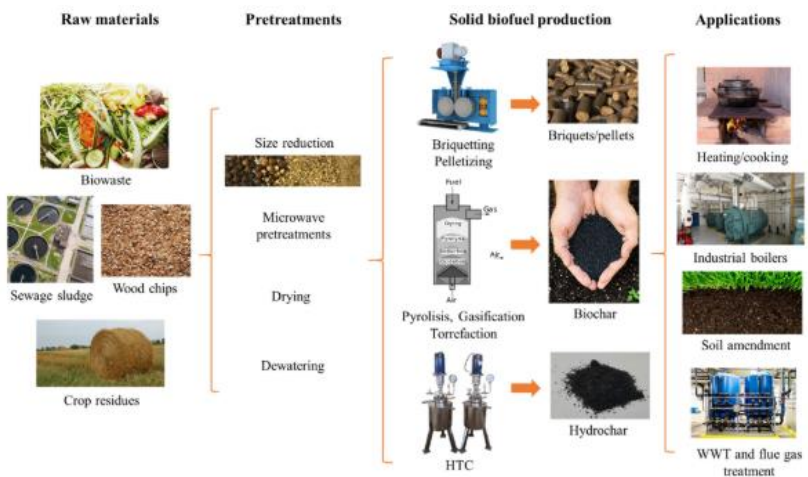
Distribusi produk pirolisis (Konversi termokimia biomassa menjadi *bio-oil*, biochar dan gas) disajikan pada Gambar 3.2



*produk yang diinginkan

Gambar 3.2 Konversi Termokimia Biomassa Menjadi Biooil, Biochar, dan Gas (Mohan *et al.*, 2014)

Ikhtisar produksi dan aplikasi biochar disajikan pada Gambar 3.3



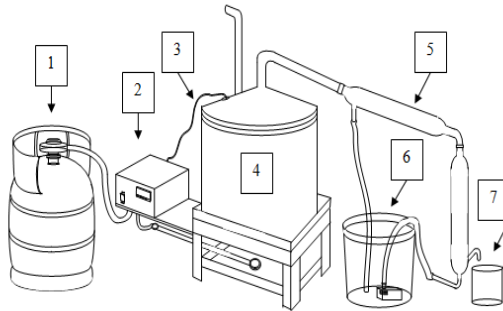
Gambar 3.3 Ikhtisar Produksi dan Aplikasi Biochar (Angulo-Mosquera *et al.*, 2021)

Tabel 3.1. Proses Termokimia, Reaksi, Waktu Tinggal dan Produk Utama (Dimodifikasi) Pirolisis (Mohan *et al.*, 2014)

Proses Termokimia	Range Temperatur, °C	Laju Pemanasan	Tekanan	Waktu Tinggal	Produk yang diinginkan
Slow pirolisis	350-800	Lambat (< 10 °C/menit)	Atmosferik	Jam-detik	biochar
Torefikasi	200-300	Lambat (< 10 °C/menit)	Atmosferik	Menit-jam	Stabilized friable
Fast pirolisis	400-600	Sangat cepat (~ 1000 °C/detik)	Vacum- Atmosferik	detik	biooil
Gasifikasi	700-1500	Sedang-Sangat cepat	Atmospheric –elevated	Detik-mneit jam	Syngas/prod ucer gas
karbonisasi hidrotermal (HTC)	175-250	Lambat	-	jam	Hydrochar

Alat utama yang digunakan pada proses pembuatan bio-arang adalah seperangkat reaktor pirolisis (ditunjukkan pada Gambar 3.4) dilengkapi dengan *thermocouple*, tempat penampung tar, kondensor, dan tempat penampung liquid. Alat utama yang digunakan pada proses pembriketan adalah mesin press biobriket (Krisbow hydraulic press floor diperoleh di toko Johnson Makassar (ditunjukkan pada Gambar 3.4). Adapun peralatan

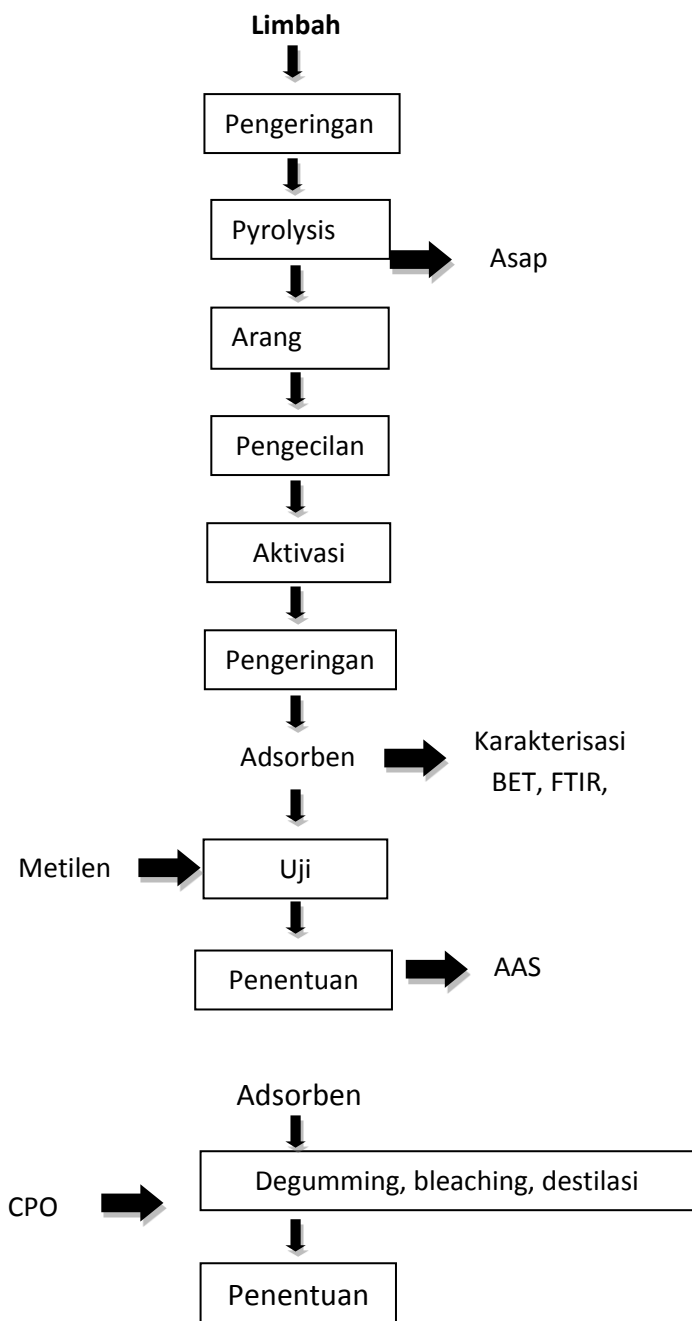
untuk pengujian nilai kalor adalah PARR-bom kalorimeter.



Gambar 3.4 Rangkaian Alat Pyrolysis (La Ifa, Yani, *et al.*, 2020)

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. LPG Cylinder | 5. Condenser |
| 2. Temperature indicator | 6. Condesatand
pump |
| 3. Thermocouple | 7. Container of
liquid |
| 4. Pyrolysis | |

Diagram alir pembuatan bioadsorben dan aplikasinya pada penelitian disajikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

3.5.1 Metode Latourette

Sintesa katalis zeolit dibuat dengan mengadopsi digunakan metode Latourette, yaitu mencampur tiga larutan yaitu larutan A yang terdiri dari $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, H_2SO_4 dan H_2O , larutan B yang terdiri dari Na Silicate, H_2O , dan larutan C terdiri dari NaOH 40%. Larutan A dicampur dengan larutan B menggunakan pengaduk. Gel yang terbentuk diharapkan mempunyai pH campuran 2,5. Kemudian larutan C ditambahkan secara pelan-pelan pada larutan di atas dan pH yang tercapai sekitar 9. Larutan homogen yang terbentuk dimasukkan ke reaktor seperti pada Gambar dan dipanaskan pada suhu sesuai dengan variabel. Kristal yang terbentuk didiamkan selama 24 jam.

3.5.2 Metode Plank

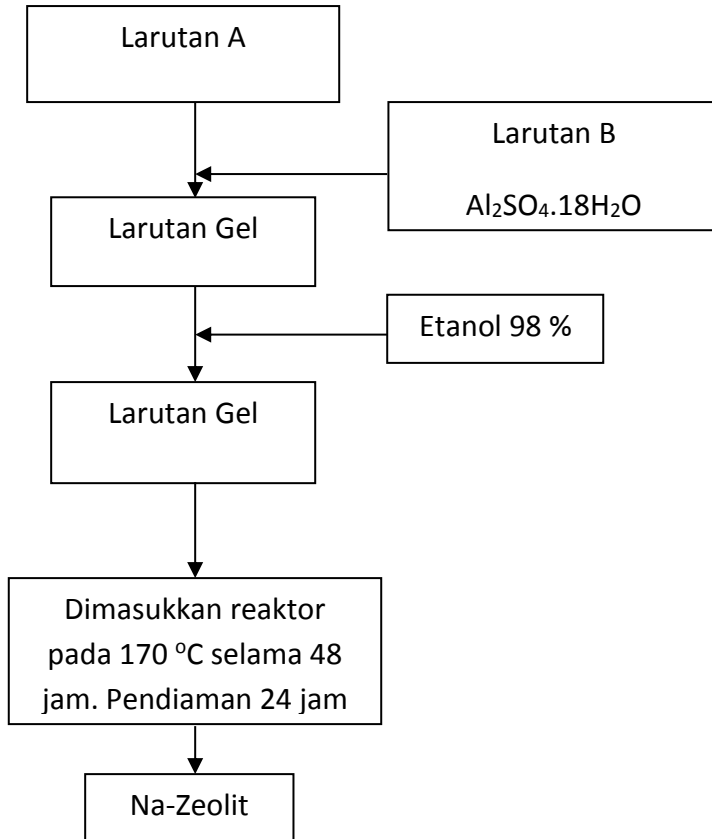
Formulasi komposisi awal gel yang digunakan dalam perbandingan mol adalah $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$: 94, $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$: 8.6, $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$: 3870, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{Al}_2\text{O}_3$: 146. Dibuat larutan A dalam beaker glass dengan komposisi (360 gram water glass(28,8% SiO_2 ,

8,9% Na_2O , 62,4% H_2O) + 450 gram H_2O). Kemudian larutan B dibuat dalam beaker glass dengan komposisi (12,3 gram $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ + 30 gram H_2SO_4 98% + 600 gram H_2O). Larutan B kemudian ditambahkan ke dalam larutan A sedikit demi sedikit sambil diaduk agar pencampuran menghasilkan campuran yang homogen. Campuran akhir adalah gel yang berwarna putih, yang kemudian didiamkan selama 1 jam untuk memperoleh gel yang halus dan homogen.

Selanjutnya kepada gel yang homogen ini ditambahkan 124 gram etanol sedikit demi sedikit sambil diaduk. Kemudian gel terus diaduk selama 1 jam. pH gel dicek dengan kertas lakmus universal dan harus berkisar antara 10-11, jika tidak, dilakukan penambahan larutan H_2SO_4 atau NaOH hingga didapat pH 10-11.

Gel dengan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 94 ini kemudian masukkan dalam autoklaf dan dipanaskan pada suhu 176°C tekanan 10 bar dan diaduk pada kecepatan 100 rpm selama 48 jam. Kristal yang terbentuk kemudian disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH filtrate pencucian sekitar 8. Kristal yang diperoleh kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu

110°C selama 24 jam. Diperoleh kristal Na-Zeolit, Skema sintesa Na-Zeolit dapat dilihat pada Gambar 3.6.

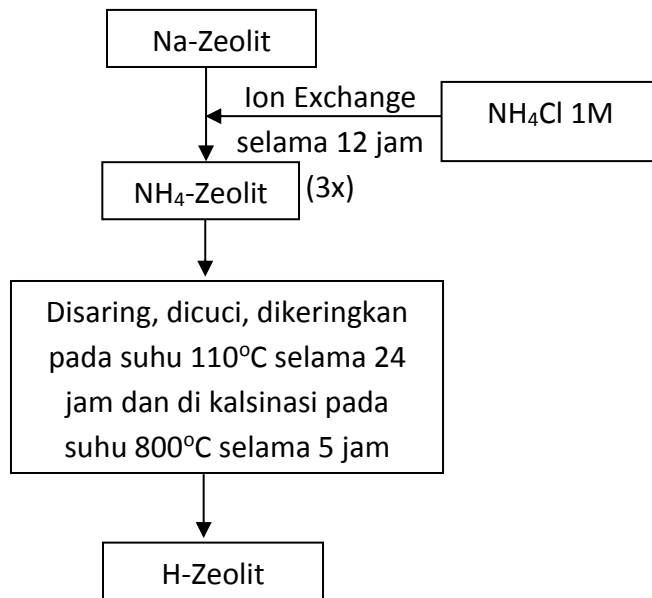


Gambar 3.6. Prosedur Sintesa Na-Zeolit

3.5.3 Pengubahan ke H-Zeolit

Katalis Na-Zeolit diubah menjadi bentuk H-Zeolit. H-Zeolit diperoleh dengan cara pertukaran ion Na-Zeolit dengan larutan amonium klorida 1 M dengan

perbandingan zeolit terhadap larutan ammonium klorida sebanyak 1:10 sebanyak tiga kali. H-Zeolit yang terbentuk disaring, dicuci dan dikeringkan pada suhu 110 °C selama 6 jam yang diikuti dengan kalsinasi dengan mengalirkan N₂ pada suhu 800 °C selama 5 jam. Skema perubahan katalis Na-Zeolit menjadi H-Zeolit ditunjukkan oleh Gambar 3.7.

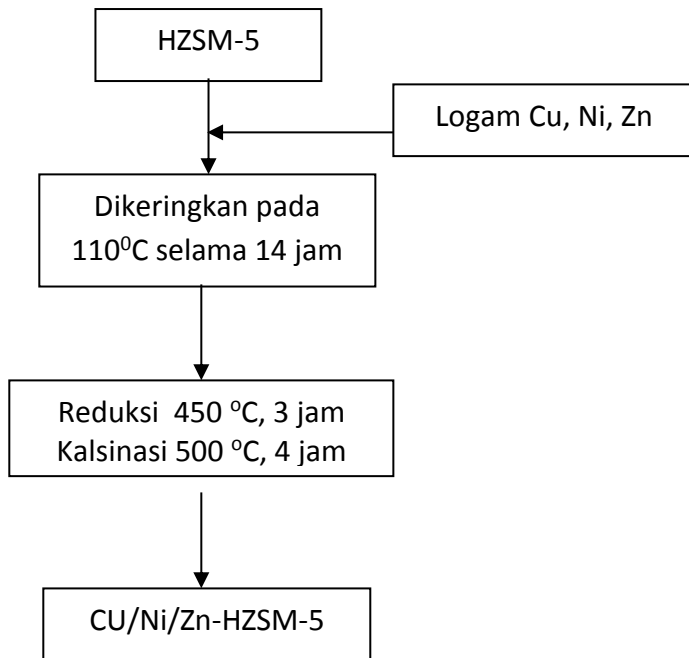


Gambar 3.7. Prosedur pengubahan Na-zeolit menjadi H-zeolit dengan pertukaran ion

3.5.4 Impregnasi

HZSM-5 di impregnasi dengan larutan yang mengandung logam aktif yaitu CuSO₄·5H₂O, NiSO₄·7H₂O, dan ZnSO₄·7H₂O yaitu dengan menambahkan secara perlahan-lahan larutan

logam ke HZSM-5 pada suhu kamar. Padatan tersebut kemudian dikeringkan pada suhu 110 °C selama 14 jam kemudian direduksi dengan gas hidrogen pada suhu 450 °C selama 3 jam, kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam. Prosedur impregnasi dapat dilihat pada Gambar 3.8.

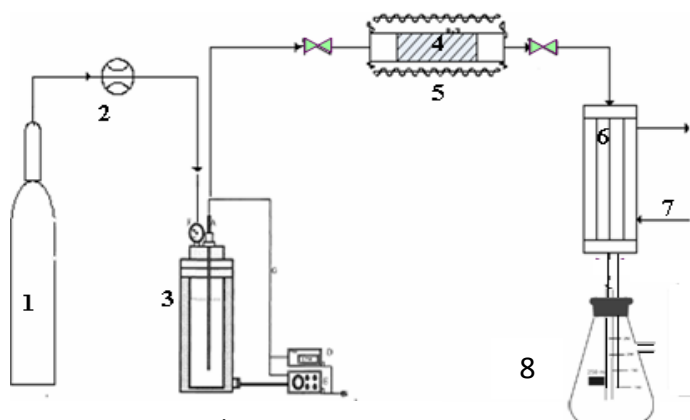


Gambar 3.8 Diagram Alir Prosedur Impregnasi

3.5.5 Proses Perengkahan Katalitik

Perengkahan katalitik dilakukan dalam sebuah mikro reaktor yang diisi katalis kurang lebih 1 g dan reaktor dilapisi dengan elemen pemanas.

Minyak sawit dimasukkan ke dalam tangki umpan yang dipanaskan pada suhu 350 °C, kemudian kedalam tangki dialiri gas nitrogen dengan laju antara 100-160 ml.min⁻¹. Uap minyak dan gas nitrogen mengalir kedalam reaktor unggun tetap yang dipanaskan pada suhu yang diinginkan (350-500 °C). Reaksi perengkahan katalitik dilakukan selama 120 menit. Hasil perengkahan dianalisa dengan metode gas kromatografi jenis FID (Flame Ionization Detector) kolom HP PORAPLOT QO4. Rangkaian alat proses perengkahan minyak nabati dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Keterangan gambar :

- | | |
|-----------------------|------------------|
| 1. Gas N ₂ | 5. Mikroreaktor |
| 2. Flow meter | 6. Kondensor |
| 3. Pemanas umpan | 7. Air pendingin |
| 4. Katalis | 8. Sampel liquid |

Gambar 3.9. Rangkaian Alat Proses Perengkahan Minyak Nabati

DAFTAR PUSTAKA

- Abustam, E., Said, M. I., & Yusuf, M. (2018). The Effect of Antioxidant Activity of Liquid Smoke in Feed Supplement Block on Meat Functional of Muscle Longissimus dorsi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 119(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/119/1/012046>
- Aisyah, I., Sinaga, M. S., Nawangsih, A. A., Giyanto, & Pari, G. (2018). Utilization of liquid smoke to suppress blood diseases on bananas and its effects on the plant growth. *Agrivita*, 40(3), 453–460. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v40i3.1390>
- Ali, M. M. S., El-Sai, N., & Girgis, B. S. (2014). Evaluation and Modeling of High Surface Area Activated Carbon from Date Frond and Application on Some Pollutants. *International Journal of Computational Engineering Research*, 4(1), 70–78.
- Amuda, O. ., Edewor, T. I., Afolabi, T. J., & Hung, Y. T. (2013). Steam-activated carbon prepared from Chrysophyllum albidum seed shell for the adsorption of cadmium in wastewater: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *International Journal of Environment and Waste Management*, 12(2), 213–229. <https://doi.org/10.1504/IJEWM.2013.055595>
- Angulo-Mosquera, L. S., Alvarado-Alvarado, A. A., Rivas-Arrieta, M. J., Cattaneo, C. R., Rene, E. R., & García-Depraect, O. (2021). Production of solid biofuels from

- organic waste in developing countries: A review from sustainability and economic feasibility perspectives. *Science of The Total Environment*, 795, 148816. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148816>
- Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42, 1619–1640. <https://doi.org/10.1021/ie0207919>
- Arami-Niya, A., Abnisa, F., Shafeeyan, M. S., Daud, W. M. A. W., & Sahu, J. . (2012). Optimization of synthesis and characterization of palm shell-based bio-char as a by-product of bio-oil production process. *BioResources*, 7(1), 246–264. <https://doi.org/10.15376/biores.7.1.0246-0264>
- Ayinla, R. T., Dennis, J. O., Zaid, H. M., Sanusi, Y. K., Usman, F., & Adebayo, L. L. (2019). A review of technical advances of recent palm bio-waste conversion to activated carbon for energy storage. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1427–1442. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.116>
- Bandos, T. J., & Ania, C. O. (2006). Chapter 4 Surface chemistry of activated carbons and its characterization. *Interface Science and Technology*, 7(C), 159–229. [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(06\)80013-X](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(06)80013-X)
- Barbero-López, A., Chibily, S., Tomppo, L., Salami, A., Ancin-Murguzur, F. J., Venäläinen, M., ... Haapala, A. (2019). Pyrolysis distillates from tree bark and fibre hemp inhibit the growth of wood-decaying fungi. *Industrial*

- Crops and Products*, 129, 604–610.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.049>
- Beker, S. A., Machado, M. E., Maciel, G. P. S., Silva, R., Cataluña, R., Caramão, E. B., & M., B. F. (2016). Antimicrobial Potential of Bio-Oil for Use in Diesel Oil B10. *J. Braz. Chem. Soc*, 27(1), 91–98.
- Blanch, H. W., Simmons, B. A., & Klein-Marcuschamer, D. (2011). Biomass deconstruction to sugars. *Biotechnology Journal*, 6(9), 1086–1102.
<https://doi.org/10.1002/biot.201000180>
- Boateng, A. A. (2007). Characterization and thermal conversion of charcoal derived from fluidized-bed fast pyrolysis oil production of switchgrass. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(26), 8857–8862.
<https://doi.org/10.1021/ie071054l>
- Boer, F. D., Valette, J., Commandré, J. M., Fournier, M., & Thévenon, M. F. (2020). Slow pyrolysis of sugarcane bagasse for the production of char and the potential of its by-product for wood protection. *Journal of Renewable Materials*, 9(1), 97–117.
<https://doi.org/10.32604/jrm.2021.013147>
- Brewer, C. E., Schmidt-Rohr, K., Satrio, J. A., & Browna, R. C. (2009). Effect of Hydrothermal Carbonization Reaction Parameters on. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 28(3), 386–396. <https://doi.org/10.1002/ep>
- Budaraga, I. K., Marlida, Y., & Bulanin, U. (2016). Antioxidant Properties Of Liquid Smoke Cinnamon Production Of Variation Of Purification And Different Concentration.

Cornelissen, T., Yperman, J., Reggers, G., Schreurs, S., Carleer, R., & 1. (2008). Flash co-pyrolysis of biomass with polylactic acid part 1. Influence on bio-oil yield and heating value. *Fuel*, 87, 1031–1041.

Dong, X., Ma, L. Q., & Li, Y. (2011). Characteristics and mechanisms of hexavalent chromium removal by biochar from sugar beet tailing. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1–3), 909–915. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.008>

FAO. (1985). *Industrial charcoal making, FAO Forestry Paper No. 63. Mecahanical Wood Products Branch. Forest Industries Division. FAO Forestry Department.*

Frassoldati, A., Migliavacca, G., Crippa, T., Velata, F., Faravelli, T., & Ranzi, E. (2006). Detailed kinetic modeling of thermal degradation of biomasses. *29th Meeting on Combustion*, 1–6. Retrieved from <http://143.225.115.225/proc/proc2006/documenti/Papers/09-02-frassoldati-039.pdf>

Gao, Y., Yang, Y., Qin, Z., & Sun, Y. (2016). Factors affecting the yield of bio - oil from the pyrolysis of coconut shell. *SpringerPlus*, 5(333), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1974-2>

Hadanu, R., & Apituley, D. A. N. (2016). Volatile Compounds Detected in Coconut Shell Liquid Smoke through Pyrolysis at a Fractioning Temperature of 350-420 oC.

Makara Journal of Science, 20(3), 95–100.
<https://doi.org/10.7454/mss.v20i3.6239>

Harris, K., Gaskin, J., Cabrera, M., Miller, W., & Das, K. C. (2013). Characterization and Mineralization Rates of Low Temperature Peanut Hull and Pine Chip Biochars. *Agronomy*, 3(2), 294–312.
<https://doi.org/10.3390/agronomy3020294>

Ifa, L., Nurdjannah, Ramadhana, A. I., Sayudi, C. M., & Rusnaenah, A. (2021). Journal of Industrial Engineering & Management Research. *JournalOf Industrial Engineering Management*, 6(1), 26–37.

Ifa, L., Sabara, Z., Mandasini, Nurjannah, N., Anas, A., & Madilao, W. (2018). Utilization of Liquid Smoke Produced through Sthe Pyrolysis of Cashew Nut Shells as Raw Materials for Varnish Manufacturing. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 175, pp. 1–4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012034>

Ifa, L., Yani, S., Mandasini, Sabara, Z., Sirajudin, N., & Rusnaenah, A. (2018). Production of Phenol from Liquid Smoke Resulted by the Pyrolysis of Cashew Nut Shells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012033>

Ifa, L., Yani, S., Nurjannah, N., Darnengsih, D., Rusnaenah, A., Mel, M., ... Kusuma, H. S. (2020). Techno-economic analysis of bio-briquette from cashew nut shell waste.

Heliyon, 6(9), e05009.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05009>

Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(9), 1966–2005.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013>

Jahirul, M. I., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A., & Ashwath, N. (2012). Biofuels production through biomass pyrolysis- A technological review. *Energies*, 5(12), 4952–5001.
<https://doi.org/10.3390/en5124952>

Kailaku, S. I., Syakir, M., Mulyawanti, I., & Syah, A. N. A. (2017). Antimicrobial activity of coconut shell liquid smoke. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 206, pp. 1–8).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/206/1/012050>

Libra, J. A., Kyoung, S. R., Kammann, C., Funke, A., Berge, N. D., Neubauer, Y., ... Emmerich, K.-H. (2011). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry , processes and ... Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry , processes and. *Biofuels*, 2(1), 89–124.

Lima, I. M., Boateng, A. A., & Klasson, K. T. (2010). Physicochemical and adsorptive properties of fast-pyrolysis bio-chars and their steam activated counterparts. *Journal of Chemical Technology and*

Biotechnology, 85(11), 1515–1521.
<https://doi.org/10.1002/jctb.2461>

Lombok, J. Z., Setiaji, B., Trisunaryati, W., & Wijaya, K. (2014). Effect of Pyrolysis Temperature and Distillation on Character of Coconut Shell Liquid Smoke. In *Proceeding of International Conference On Research, Implementation And Education Of Mathematics And Sciences* (pp. 320–325). Retrieved from <http://www.journalajst.com/sites/default/files/1576.pdf>

Maryam. (2015). Applications of liquid smoke powder as flavor and food preservative (Case Study: Sponge Cake). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 5(2), 135–138.
<https://doi.org/10.18517/ijaseit.5.2.503>

Maulina, S., & Silia, F. (2018). Liquid smoke characteristics from the pyrolysis of oil palm fronds. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 309, pp. 1–6).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012073>

Mohammad-Khah, A., & Ansari, R. (2009). Activated charcoal: Preparation, characterization and applications: A review article. *International Journal of ChemTech Research*, 1(4), 859–864.

Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy and Fuels*, 20(3), 848–889.
<https://doi.org/10.1021/ef0502397>

- Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., & Pittman, C. U. (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent - A critical review. *Bioresource Technology*, 160, 191–202. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120>
- Nizamuddin, S., Shrestha, S., Athar, S., Ali, B. S., & Siddiqui, M. A. (2016). A critical analysis on palm kernel shell from oil palm industry as a feedstock for solid char production. *Reviews in Chemical Engineering*, 32(5), 489–505. <https://doi.org/10.1515/revce-2015-0062>
- Nurjannah, Roesyadi, A., & Prajitno, D. H. (2010). Konversi Katalitik Minyak Sawit Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan Silika Alumina Dan H₂sm-5 Sintesis. *Reaktor*, 13(1), 37–43. <https://doi.org/10.14710/reaktor.13.1.37-43>
- Oramahi, H. A., Yoshimura, T., Diba, F., Setyawati, D., & Nurhaida. (2018). Antifungal and antitermitic activities of wood vinegar from oil palm trunk. *Journal of Wood Science*, 64(3), 311–317. <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1703-2>
- Ozbay, G., & Ayrimis, N. (2017). Effect of Pyrolysis Temperature on Bio-Oil Production from Vacuum Pyrolysis of Waste from Wood Industry. In *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology* (pp. 56–58). Retrieved from <http://iraj.in>
- Pallarés, J., & González-Cencerrado, Ana Arauzo, I. (2018). Production and characterization of activated carbon

from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam. *Biomass Bioenergy*, 115, 64–73.

Pimenta, A. S., Fasciotti, M., Monteiro, T. V. C., & Lima, K. M. G. (2018). Chemical composition of pyroligneous acid obtained from eucalyptus GG100 clone. *Molecules*, 23(426), 1–12.
<https://doi.org/10.3390/molecules23020426>

Qomariyah, N., Retnani, Y., Jayanegara, A., Wina, E., & Permana, I. G. (2019). Utilization of Biochar and Liquid Smoke to Increase Livestock Performance. *Watazoa*, 29(4), 171–182.
<https://doi.org/10.14334/wartazoa.v29i4.2077>

Rakhmayeni, D. A., Yuniarti, T., & Sukarno, S. (2020). Application of Liquid Smoke from Coconut Shell in Tandipang (Dussumeiria Acutta) Smoked Fish To Extend Shelf Life. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 12(2), 315–323.
<https://doi.org/10.20473/jipk.v12i2.20790>

Sari, Y. P., Samharinto, S., & Langai, B. F. (2018). Use of Liquid Smoke of Oil Palm Empty Fruit Bunches as Phyto Pesticide to Control Leaf Damaging Pests of Mustard Plants (*Brassica juncea* L.). *EnviroSciencieae*, 14(3), 272–284.

Sun, G., Qiu, L., Zhu, M., Kang, K., & Guo, X. (2018). Activated carbons prepared by hydrothermal pretreatment and chemical activation of *Eucommia ulmoides* wood for supercapacitors application. *Industrial Crops and*

Products, 125(June), 41–49.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.082>

Surboyo, M. D. C., Arundina, I., Rahayu, R. P., Mansur, D., & Bramantoro, T. (2019). Potential of Distilled Liquid Smoke Derived from Coconut (*Cocos nucifera* L) Shell for Traumatic Ulcer Healing in Diabetic Rats. *European Journal of Dentistry*, 13(2), 271–279.
<https://doi.org/10.1055/s-0039-1693527>

Swastawati, F., Al-Baari, A. N. matullah, Susanto, E., & Purnamayati, L. (2019). The effect of antioxidant and antibacterial liquid smoke nanocapsules on catfish fillet (*pangasius* sp.) during storage at room temperature and cold temperature. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 11(4), 165–175.
<https://doi.org/10.34302/2019.11.4.16>

Tarawan, V. M., Mantilidewi, K. I., Dhini, I. M., Radhiyanti, P. T., & Sutedja, E. (2017). Coconut Shell Liquid Smoke Promotes Burn Wound Healing. *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 22(3), 436–440.
<https://doi.org/10.1177/2156587216674313>

Tsai, W. ., Chang, C. ., & Lee, S. . (1997). Preparation and Characterization of Activated Carbons from corn cob. *Carbon*, 35, 198–200. [https://doi.org/10.1016/s0008-6223\(97\)84654-4](https://doi.org/10.1016/s0008-6223(97)84654-4)

Wagiman, F. X., Ardiansyah, A., & Witjaksono, W. (2014). Activity of Coconut-Shell Liquid-Smoke as an Insecticide on the Rice Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens*).

ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science,
9(9), 293–296.

Wiedner, K., Rumpel, C., Steiner, C., Pozzi, A., Maas, R., & Glaser, B. (2013). Chemical evaluation of chars produced by thermochemical conversion (gasification, pyrolysis and hydrothermal carbonization) of agro-industrial biomass on a commercial scale. *Biomass and Bioenergy*, 59, 264–278.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.08.026>

Yang, R. T. (2003). *Fundamentals and Applications Plasmonics: Fundamentals and Applications. Physics*. New York: A JOHN WILEY & SONS, INC.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.020>

ZHANG, T., WALAWENDER, W. P., FAN, L. T., FAN, M., DAUGAARD, D., & BROWN, A. R. C. (2004). Preparation of Activated Carbon From Forest and Agricultural. *Chemical Engineering Journal*, 105(2004), 53–59.

BAB 4 | APLIKASI ADSORBEN

4.1 **Analisa Performa Bentonit Terhadap Kualitas Warna, Asam Lemak Bebas, dan Karoten pada Pemurnian *Crude Palm Oil*: Pengaruh Konsentrasi Bentonit dan Waktu Kontak** (La Ifa, Wiyani, *et al.*, 2021).

4.1.1. METODE PENELITIAN

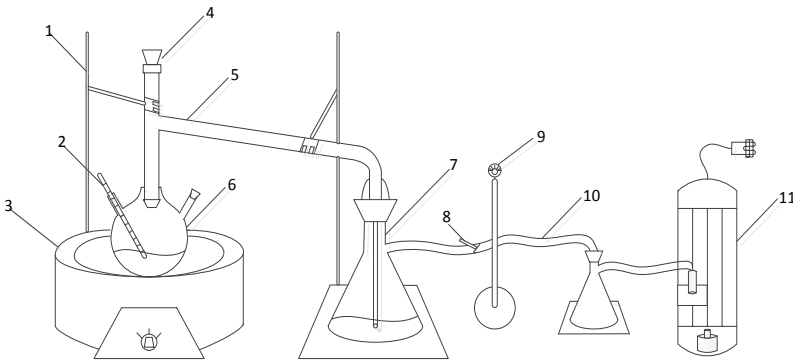
4.1.1.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah CPO terdiri dari 4 jenis dari sumber yang berbeda. CPO-1 dengan kandungan FFA 3,44%. CPO-2 dengan kandungan FFA 4,57%. CPO-3 dengan kandungan FFA 5,22%. CPO-4 dengan kandungan FFA 6,47%. Bentonit yang digunakan memiliki komposisi kimia sebagai berikut (%w/w): SiO₂ (55-80), Al₂O₃ (5-20), Fe₂O₃ (2-10), MgO (0-8), CaO (0-5), Na₂O (0-2), K₂O (0-2) dan memiliki (moisture content 10,68%, apparent bulk density 552 kg/m³). Bahan-bahan analisis seperti H₃PO₄ p.a, isooktan p.a, sodiumhidroksida p.a, etil alkohol p.a, isopropil alkohol p.a, phenolpftalein p.a, kalium hidrogen ptalate p.a, etanol absolut p.a,

silica gel p.a diperoleh dari Toko Intrako Makassar.

4.1.1.2 Alat Penelitian

Peralatan utama yang digunakan adalah seperangkat alat destilasi serta alat pembantu lainnya yang biasa digunakan di laboratorium. Rangkaian alat destilasi seperti Gambar 4.1:



Gambar 4.1. Rangkaian Peralatan pada Proses Destilasi

Keterangan:

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. Statip dan klem | 6. Labu didih lebertiga |
| 2. Termometer | 7. Labu Destilat |
| 3. Heating mantel | 8. Valve |
| 4. Karet penutup | 9. Pressure Gauge |
| 5. Pipa Saluran | 10. Selang spiral |
| | 11. Pompa vakum |

4.1.1.3 Prosedur Penelitian

Proses pemurnian CPO melibatkan tiga tahapan yakni degumming, pemucatan dan penghilang bau (Jumaah, Mohamad Yusoff, Salimon, & Bahadi, 2019). Kegiatan utama dalam proses pemucatan CPO dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Proses *degumming*

CPO dipanaskan sampai suhu 90 °C kemudian ditambahkan H₃PO₄ dan dilakukan pengadukan selama 10 menit. Minyak kelapa sawit yang telah melalui proses *degumming* disebut *degummed palm oil* (DPO).

2. Proses *bleaching*

DPO dimasukan ke dalam labu leher tiga ditambahkan bentonit dengan konsentrasi 1,5, 2,0, 2,5 dan 3,0% (w/v), dilakukan pengadukan dan dipanaskan sampai suhu 105oC dan waktu kontak selama 15, 30, 45 dan 60 menit. Campuran DPO disaring dengan filter Buchner (ukuran pori 1 mm,, 100 circles, diameter 70 mm, Whatman) kemudian disaring di bawah vakum. Minyak DPO yang telah melalui proses *bleaching*

disebut *bleached deodorized palm oil* (BDPO) kemudian dilanjutkan ke proses destilasi.

3. Proses destilasi

Sebanyak 90 ± 1 g BDPO didestilasi dengan menggunakan labu destilasi dilengkapi dengan rotary vacuum pump (Model 2XZ-0.5 speed: 1.400 rpm, voltage: 220V, 50 Hz). Dipanaskan menggunakan *heating mantel* sampai suhu $280 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Setelah suhu mencapai $280 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kemudian dimatikan dan ditunggu suhu sampel turun sampai suhu $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$. BDPO yang telah melalui destilasi disebut sebagai *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO).

Analisa yang dilakukan menggunakan prosedur AOCS (*American Oil Chemists' Society*) dan PORIM (*Palm Oil Research Institute of Malaysia*) yang telah dimodifikasi. Analisis bahan baku meliputi FFA (AOCS Ca 5a-40), DOBI (PORIM p.2.9), karoten (PORIM p.2.9), dan warna (AOCS Cc 13b-45). Analisa DOBI yaitu untuk mengukur tingkat/kemampuan CPO untuk dipucatkan (parameter analisa hanya untuk CPO) sedangkan pada minyak RBDPO tidak diadakan

analisa DOBI. Minyak RBDPO selanjutnya dianalisa kandungan warna, FFA, karoten.

Penentuan Kadar FFA

Kadar FFA ditentukan dengan metode titrasi seperti tertulis pada American Oil Chemists Society, AOCS (!990) dengan beberapa modifikasi. Persentase FFA dihitung sebagai asam palmitat dimana berat molekul FFA tersebut dianggap sebesar 256 (sebagai asam palmitat) berdasarkan Persamaan 4.1(Henry, 2011)

$$\text{FFA sebagai palmitic, \%} = \frac{V \times m \times M}{10w} \times 100\% \quad (4.1)$$

Dimana: V= volume (dalam mililiter) sodium hidroksida yang digunakan, m = Molaritas larutan sodium hidroksida yang digunakan , w = berat (dalam gram sampel) yang digunakan dan M = Berat molekul FFA

Persamaan 4.1 dapat dituliskan menjadi Persamaan 4.2 (F. S. Ali *et al.*, 2014; Fatin *et al.*, 2014; H. Hashim, Yusup, & Arlabosse, 2019).

$$\text{FFA sebagai palmitic, \%} = \frac{V \times N \times 25.6}{w} \times 100\% \quad (4.2)$$

Dimana: V= volume sodium hidroksida yang digunakan, N = Normalitas sodium hidroksida yang digunakan (0,1026), w = berat CPO yang digunakan.

Penentuan Nilai DOBI

Nilai DOBI diukur dengan menggunakan Spectrophotometer Shimadzu1240 UV-Vis. Sample CPO dilarutkan menggunakan isooktan sebanyak 25 mL. Larutan sampel (CPO dan isooktan) dan diukur absorbansi pada panjang gelombang 269 nm dan 446 nm, dengan isooktan sebagai blanko(Silva *et al.*, 2014). Perhitungan nilai DOBI menurut Persamaan 4.3 (Ribeiro *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2014)..

$$\text{DOBI} = \frac{\text{Absorban pada 446 nm}}{\text{Absorban pada 269 nm}} \quad (4.3)$$

Penentuan Nilai Karoten

Nilai karoten, dinyatakan sebagai β -karoten, ditentukan dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang 446 nm yang dihomogenisasi dan diencerkan dalam isooktan sebanyak 25 mL (Silva *et al.*, 2014). Larutan sampel (CPO maupun RBDPO dan

isooktan) dan diukur absorbansi pada panjang gelombang 446 nm, dengan isooktan sebagai blanko menggunakan Spectrophotometer Shimadzu 1240 UV-Vis. Perhitungan nilai karoten menurut Persamaan 4. Persamaan 4.4 ini diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (H. Hashim *et al.*, 2019)

$$\text{Kadar Karoten (mg/kg)} = \frac{25 \times 383 \times \text{Abs } 446}{w \times 100} \quad (4.4)$$

Dimana: w = berat sampel dalam g, nilai 383 merupakan faktor kalibrasi Carotene pada panjang gelombang 446 nm.

PenentuanWarna

Warna sampel ditentukan menurut AOCS Metode Cc 13b-45, menggunakan skala Warna Tintometer Lovibond pada 70° C. Analisis dilakukan menggunakan sel kaca 5" ¼ (133,4 mm). Dalam kasus sampel minyak sawit mentah, warnanya lebih gelap dari pada skala dalam sel kaca maka digunakan skalaberukuran 1" (25,4 mm) (Silva *et al.*, 2014).

Kapasitas Adsorpsi dan Efisiensi Penghilangan Karoten dan FFA

Kapasitas penjerapan pada carotene dan FFA ditentukan menggunakan Persamaan 4.5 (Elabbas *et al.*, 2016; Naat *et al.*, 2021; Putranti *et al.*, 2018)

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (4.5)$$

Dimana q_e adalah kapasitas penjerapan (mg/g) dari caroten dan FFA yang terjerap oleh bentonit, C_o dan C_e adalah konsentrasi caroten dan FFA (mg/L) dalam larutan sebelum dan setelah penjerapan, V adalah volume (L) dari larutan dan m adalah massa (g) bentonit yang digunakan pada penelitian.

Efisiensi penghilangan dihitung menggunakan Persamaan 4.6 (Anang *et al.*, 2020; Elabbas *et al.*, 2016; Naat *et al.*, 2021; Purwasasmita *et al.*, 2015).

$$\%R = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100 \quad (4.6)$$

4.1.2 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan baku utama yang digunakan adalah empat jenis CPO dengan kualitas berbeda berdasarkan

nilai DOBI dan FFA. Perbedaan kadar awal setiap komponen akan mempengaruhi proses adsorpsi bila dikontakan dengan adsorben. Sebelum keempat jenis CPO dimurnikan, dikarakterisasi terlebih dahulu meliputi nilai FFA, DOBI, karoten dan warna. CPO yang digunakan cukup mewakili untuk mengkaji proses pemucatannya mulai dari CPO dengan mutu rendah (CPO yang memiliki nilai DOBI rendah ($< 2,31\%$) (Lin, 2004) dan CPO mutu tinggi (CPO yang memiliki nilai DOBI $> 2,5$ (Silva *et al.*, 2014). Hasil karakterisasi keempat jenis CPO disajikan pada Tabel 4.1.1

Tabel 4.1. 1 Karakterisasi Bahan Baku CPO

Parameter	Bahan Baku			
	CPO 1	CPO 2	CPO 3	CPO 4
FFA (%)	3,44	4,57	5,22	6,47
DOBI	2,52	2,31	2,28	1,95
Karoten (ppm)	486	471	460	434
Warna, 1" (R/Y)	24R/24Y	22R/22Y	21R/21Y	20R/20Y

Nilai DOBI antara 2.5 dan 4.0 menunjukkan rata-rata kualitas minyak mentah yang baik. Nilai di bawah 2,0 menunjukkan minyak sawit mentah berkualitas rendah yang sulit untuk dipucatkan (Silva *et al.*, 2014). Nilai DOBI, yang merupakan

rasio absorbansi pada 446 nm (pengukuran karoten) hingga 269 nm, berkorelasi baik dengan warna. Minyak dengan nilai DOBI rendah, karena karoten rendah.

4.1.2.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Warna CPO

Warna RBDPO dilihat dengan menggunakan pembacaan *Red* (R) dan *Yellow* (Y). Persentase pemucatan minyak untuk setiap sampel RBDPO dihitung dan disajikan pada Tabel 4.1.2 dan 4.1.3. Secara keseluruhan warna CPO mengalami penurunan setelah dilakukan proses *bleaching* dan terus menurun dengan meningkatnya waktu kontak dan konsentrasi bentonit ditunjukkan pada Tabel 4.1.2 dan 4.1.3.

Tabel 4.1.2. Pengaruh waktu Kontak Terhadap Warna CPO Menggunakan Bentonit 3%

Waktu kontak(menit)	Warna (R/Y)			
	CPO 1	CPO 2	CPO 3	CPO 4
0	24R/24Y	22R/22Y	21R/21Y	20R/20Y
Waktu kontak (menit)	Warna (R/Y)			
	RBDPO 1	RBDPO 2	RBDPO3	RBDPO4
15	4,2R/42Y	5,1R/51Y	6,4R/64Y	7,0R/70Y
30	3,6R/36Y	4,6R/46Y	6,0R/60Y	6,6R/66Y

45	3,1R/31Y	4,0R/40Y	5,2R/52Y	5,9R/59Y
60	2,5R/25Y	3,4R/34Y	4,5R/45Y	5,0R/50Y

Keterangan: R= *Red*, Y = *Yellow*

Pada Tabel 4.1.2 ditunjukkan bahwa penurunan warna mulai terjadi pada waktu 15 menit, dan terus meningkat dengan penambahan waktu kontak pada semua sampel CPO. Secara umum semakin lama waktu kontak bentonit dengan CPO maka kesempatan karoten untuk terjerap dalam pori-pori bentonit semakin besar. Kondisi serupa juga terjadi pada sampel CPO 2, 3 dan 4. Pengaruh waktu kontak diperoleh persentase penurunan terbesar terhadap nilai, warna 89,58% pada waktu 60 menit. Hal ini disebabkan semakin lama waktu kontak maka dapat meningkatkan laju perpindahan massa melalui pori-pori partikulat dari bentonit. Penurunan warna ini disebabkan oleh senyawa karoten sebagian terjerap ke dalam pori-pori bentonit ditunjukkan berkurangnya warna red untuk semua jenis CPO.

4.1.2.2 Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Warna CPO

Tabel 4.1.3 Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Warna Keempat Sampel CPO dengan Waktu Kontak Selama 30 Menit

Konsentrasi bentonit(%)	Warna (R/Y)			
	CPO 1	CPO 2	CPO 3	CPO 4
0	24R/24Y	22R/22Y	21R/21Y	20R/20Y
Konsentrasi bentonit(%)	Color (R/Y)			
	RBDPO1	RBDPO2	RBDPO3	RBDPO4
1,5	4,3R/43Y	4,8R/48Y	6,2R/62Y	6,7R/67Y
2,0	3,9R/39Y	4,3R/43Y	5,6R/56Y	6,2R/62Y
2,5	3,1R/31Y	3,7R/37Y	5,0R/50Y	5,7R/57Y
3,0	2,7R/27Y	3,1R/31Y	4,5R/45Y	5,1R/51Y

Keterangan: R= Red, Y = Yellow

Menurut Tabel 4.1.3 menunjukkan bahwa, semakin tinggi konsentrasi bentonit semakin banyak warna yang terjerap. Trend ini serupa dengan temuan (Acquah *et al.*, 2016)(Etim *et al.*, 2016). Mereka melaporkan bahwa, semakin tinggi jumlah adsorben yang digunakan, semakin banyak warna yang terjerap. Kemampuan pemucatan berkorelasi positif dengan konsentrasi bentonit terhadap persentase penurunan warna. Jika konsentrasinya rendah, situs adsorptif aktif yang

dibentuk mungkin tidak cukup untuk menurunkan zat pewarna pada minyak sawit. Hasil ini sejalan dengan yang dilaporkan (Tian *et al.*, 2015). Seperti yang laporkan oleh Wambu *et al.*, (2011), semakin besar konsentrasi adsorben maka akan meningkatkan jumlah zat warna yang terjerap karena ada peningkatan permukaan adsorpsi yang tersedia untuk interaksi (Wambu *et al.*, 2011). (Itodo & Itodo, 2010; P. S. Kumar *et al.*, 2010; Olufemi & Otolorin, 2017; Wambu *et al.*, 2011)

Tabel 4.1.3 menunjukkan bahwa secara umum warna merah semua sampel CPO menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi bentonit. Persentase penurunan warna *red* terbesar yakni 88,75% (dari 24R menjadi 2,7R) dengan konsentrasi bentonit 3% untuk sampel CPO1. Hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan penelitian sebelumnya Chakawa *et al.* (2019) yang menambahkan konsentrasi zat pemucat wt 30% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ diperoleh persentase penurunan warna *red* yakni sebesar 69,29% (dari 14R menjadi 4,4R) (Chakawa *et al.*, 2019).

4.1.2.3 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Nilai Karoten CPO

Penurunan kadar karoten terjadi selama proses pemucatan CPO dengan variasi waktu dan konsentrasi bentonit. Semakin meningkatnya waktu kontak dan konsentrasi bentonit menyebabkan persentase penurunan kadar karoten semakin tinggi, disajikan pada Tabel 4.1.4 dan Tabel 4.1.5.

Tabel 4.1.4 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Nilai Karoten CPO Menggunakan Bentonit 3%

Waktu kontak (menit)	Karoten (ppm)			
	CPO 1	CPO 2	CPO 3	CPO 4
0	486	471	460	434

Waktu kontak (menit)	Karoten (ppm)			
	RBDPO1	RBDPO2	RBDPO3	RBDPO4
15	281	287	290	299
30	262	272	280	279
45	206	262	260	270
60	188	207	247	260

Hasil yang disajikan pada Tabel 4.14 menunjukkan semakin lama waktu kontak, nilai karoten semakin menurun. Hal ini

disebabkan dengan semakin lama waktu kontak antara bentonit dengan CPO maka kesempatan karoten untuk terjerap dalam pori-pori bentonit semakin besar ditunjukkan dengan nilai kadarnya semakin menurun. Kondisi serupa juga terjadi pada sampel CPO 2, 3 dan 4. Tabel 4.1.4 menunjukkan bahwa penurunan kadar karoten terbesar adalah pada waktu 60 menit untuk sampel CP01 yakni sebesar 61,32%. Riyadi *et al.* (2016) melaporkan bahwa total karoten menurun secara signifikan dengan bertambahnya waktu kontak setelah penghilang bau minyak, menggunakan bahan minyak sawit merah pada suhu 150 °C selama 2 jam. Persentase penurunan nilai karoten hasil penelitian ini lebih besar dari penelitian sebelumnya menggunakan bahan minyak sawit merah Riyadi *et al.* (2016) yakni 51,5% (Riyadi *et al.*, 2016)

4.1.2.4 Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Nilai Karoten

Tabel 4.1.5. Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Nilai Karoten CPO pada Waktu Kontak Selama 30 Menit

Konsentrasi bentonit (%)	Karoten (ppm)			
	CPO 1	CPO 2	CPO 3	CPO 4
0	486	471	460	434

Konsentrasi bentonit (%)	Karoten (ppm)			
	RBDPO1	RBDPO2	RBDPO3	RBDPO4
1,5	282	294	292	302
2,0	256	280	280	281
2,5	212	267	267	268
3,0	177	233	233	257

Menurut Tabel 4.1.5 jumlah karotenoid dalam CPO yang dipucatkan adalah 486 ppm, yang berkurang secara signifikan setelah pemucatan dengan menggunakan berbagai konsentrasi adsorben. Penurunan kandungan karotenoid seiring dengan konsentrasi bentonit yang lebih tinggi yang mungkin disebabkan oleh penyediaan area permukaan yang lebih banyak untuk adsorpsi dan penghilangan β -karoten (Abdi *et al.*, 2021). Semakin besar konsentrasi

bentonit, maka penyerapan β -karoten dari minyak sawit meningkat sehingga warna CPO semakin pucat. Demikian pula untuk sampel CPO 2, 3 dan 4.

Tabel 4.1.5 menunjukkan bahwa persentase penurunan kadar karoten terbesar adalah pada konsentrasi bentonit 3% untuk sampel CPO1 yakni sebesar 63,58%. Hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan penelitian Silva *et al.* (2014, 2013), terjadi penurunan total karoten seiring dengan penambahan konsentrasi BE pada suhu 90, 105 dan 115 °C. Persentase penurunan nilai karoten hasil penelitian ini lebih kecil dari penelitian (Silva *et al.*, 2013) yakni 89% (Silva *et al.*, 2013), (Silva *et al.*, 2014) yakni 95,5% (dari 467 menjadi 21 mg/kg)(Silva *et al.*, 2014). Abdi *et al.* (2021) melaporkan bahwa menunjukkan persentase penurunan kandungan karoten terendah (79,05%) dengan menggunakan 2% abu cangkang telur dan tertinggi (83,53) menggunakan 1% bubuk cangkang telur yang diaktifkan dengan asam.

4.1.2.5 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kadar FFA

Pengaruh waktu kontak terhadap kadar FFA dalam CPO setelah adsorpsi disajikan pada Tabel 4.1.6. Proses adsorpsi FFA berlangsung cepat pada awal proses, karena situs adsorpsi di permukaan bentonit masih kosong mengakibatkan dengan cepat FFA masuk dan terperap dalam pori-pori bentonit. Bertambahnya waktu kontak antara RBDPO dan bentonit maka jumlah situs kosong berkurang, sehingga adsorpsi berjalan lambat ditunjukkan dengan menurunnya kadar FFA untuk masing-masing sampel CPO. Pada Tabel 4.1.6 ditunjukkan bahwa sampel CPO1 diperoleh persentase penurunan FFA sedikit lebih tinggi yakni sebesar 2,38% (dari 3,44% menjadi 3,36%) pada waktu kontak 60 menit dibandingkan dengan sampel CPO 2, CPO 3 dan CPO 4.

Tabel 4.1.6 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penurunan Konsetrasi FFA CPO Menggunakan Bentonit 3%

Waktu kontak(menit)	FFA (%)			
	CPO 1	CPO 2	CPO 3	CPO 4
0	3,44	4,57	5,22	6,47

Waktu kontak (menit)	FFA (%)			
	RBDPO1	RBDPO2	RBDPO3	RBDPO4
15	3,40	4,53	5,20	6,44
30	3,40	4,52	5,18	6,44
45	3,37	4,50	5,18	6,41
60	3,36	4,48	5,16	6,40

Dari Tabel 4.1.6 menunjukan bahwa kadar FFA cenderung menurun dengan meningkatnya waktu kontak (mulai waktu 15 menit sampai dengan 60 menit) namun tidak terlalu besar. Rendahnya persentase penurunan kadar FFA ini diduga adanya faktor pengotor dalam CPO dan viskositas CPO yang besar sehingga mempengaruhi proses adsorpsi. Hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan penelitian yang dilaporkan Cowan *et al.* (2012) penurunan kadar FFA linier dengan waktu kontak. Persentase penurunan kadar FFACPO dengan penambahan 1% lipase dan 2% (w/w) gliserol pada waktu kontak 14 jam

adalah 65,26% (dari 4,98 menjadi 1,73%) (Cowan *et al.*, 2012). Tren yang sama juga dilaporkan (Riyadi *et al.*, 2016) dengan waktu kontak 2 jam (0,32%) pada suhu 150°C diperoleh persentase penurunan kadar FFA sedikit lebih besar dibandingkan waktu kontak 1 jam (0,29%).

4.1.2.6 Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Kadar FFA

Pengaruh konsentrasi bentonit terhadap kadar FFA dalam CPO disajikan pada Tabel 4.1.7. Tabel 4.1.7 menunjukkan bahwa secara umum semakin besar konsentrasi bentonit maka semakin menurun kadar FFA dari sampel CPO yang digunakan. Persentase penurunan kadar CPO menurun seiring dengan besarnya konsentrasi bentonit. Tren hasil penelitian yang diperoleh berbeda dengan penelitian yang dilaporkan (Silva *et al.*, 2014) dengan penambahan sitrat pada BE dari 0,09 menjadi 0,27% menaikkan kadar FFA 9% dari (4,61% menjadi 5%). Hal yang sama juga dilaporkan (Abdi *et al.*, 2021) bahwa kandungan FFA minyak yang dipucatkan

dengan BE teraktivasi asam mengalami peningkatan kadar FFA 96,77% (dari 0,31 menjadi 0,61% sedangkan bubuk cangkang telur yang bersifat basa menghilangkan total FFA(0%) dari minyak. Perbedaan penurunan kandungan FFA hasil penelitian yang diperoleh dengan penelitian (Abdi *et al.*, 2021) adalah pada jenis adsorben yang digunakan karena adsorben yang terbuat dari cangkang telur bersifat basa sehingga terjadi netralisasi FFA. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya hidrolisis triasilgliserol menjadi diasilgliserol dan FFA sehingga FFA nya meningkat. Tabel 4.1.7 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi bentonit menyebabkan FFA terjerap pada bentonit walaupun penurunan kadar FFA relatif rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya gugus alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2) yang merupakan gugus reaktif pada bentonit. Semakin tinggi konsentrasi bentonit yang digunakan maka semakin banyak jumlah SiO_2 dan Al_2O_3 . Kelompok karboksil dalam FFA berinteraksi dengan

sisi aktif adsorben sehingga FFA dapat dijerap pada adsorben.

Tabel 4.1.7 Pengaruh Konsentrasi Bentonit Terhadap Konsetrasi FFA CPO dengan Kontak Selama 30 Menit

Konsentrasi bentonit (%)	FFA (%)			
	CPO 1	CPO 2	CPO 3	CPO 4
0	3,44	4,57	5,22	6,47
Konsentrasi bentonit (%)	FFA (%)			
	RBDPO1	RBDPO2	RBDPO3	RBDPO4
1,5	3,42	4,56	5,20	6,45
2,0	3,40	4,53	5,20	6,44
2,5	3,36	4,51	5,17	6,42
3,0	3,34	4,50	5,15	6,39

Dari Tabel 4.1.7 menunjukkan bahwa pengaruh variasi konsentrasi bentonit terhadap penurunan kadar FFA tidak terlalu besar. Bentonit dengan konsentrasi 3% memiliki kemampuan menurunkan kadar FFA lebih tinggi, hingga 2,99% (dari 3,44% menjadi 3,34%). Persentase penurunan kadar FFA hasil penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan peneltian sebelumnya yakni (Chakawa *et al.*, 2019) persentase FFAtetap konstan pada 0,56% untuk

konsentrasi adsorben 0-30% (Chakawa *et al.*, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, E., Gharachorloo, M., & Ghavami, M. (2021). Investigation of using egg shell powder for bleaching of soybean oil. *Food Science and Technology*, 140, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110859>
- Acquah, C., Sie Yon, L., Tuah, Z., Ling Ngee, N., & Danquah, M. K. (2016). Synthesis and performance analysis of oil palm ash (OPA) based adsorbent as a palm oil bleaching material. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1098–1104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.004>
- Ali, F. S., Shamsudin, R., & Yunus, R. (2014). The Effect of Storage Time of Chopped Oil Palm Fruit Bunches on the Palm Oil Quality. In *Agriculture and Agricultural Science Procedia* (Vol. 2, pp. 165–172). Elsevier Srl. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.024>
- Anang, M. A., Dodoo, D., Ntiri, B.-S., Zugle, R., & Fynn, G. E. (2020). Improving the Quality of Locally Produced Vegetable Oils in Ghana Using Zeolite ZSM-11. *Chemical Science International Journal*, 28(4), 1–13. <https://doi.org/10.9734/csji/2019/v28i430150>
- Azeman, N. H., Yusof, N. A., & Othman, A. I. (2015). Detection of free fatty acid in crude palm oil. *Asian Journal of Chemistry*, 27(5), 1569–1573. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2015.17810>
- Budiana, I. G. M. N., Jasman, J., Neolaka, Y. A. B., Riwu, A. A. P., Elmsellem, H., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2021). Synthesis, characterization and application of cinnamoyl C-phenylcalix[4]resorcinarene (CCPCR) for removal of Cr(III) ion from the aquatic environment. *Journal of Molecular Liquids*, 324, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114776>
- Chakawa, D. P., Nkala, M., Hlabangana, N., & Muzenda, E. (2019). The use of calcium sulphate dihydrate (CaSO₄·2H₂O) as a

- bleaching agent for crude soya bean vegetable oil. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 35, pp. 802–807). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.014>
- Constant, L.-L.-N. B., Godswill, N.-N., Frank, N.-E. G., Hermine, N.-B., Achille, N., & Martin, B. J. (2017). A review of main factors affecting palm oil acidity within the smallholder oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) sector in Cameroon. *African Journal of Food Science*, 11(9), 296–301. <https://doi.org/10.5897/ajfs2017.1611>
- Cowan, D., Holm, H. C., & Yee, H. S. (2012). Reduction in free fatty acids in crude palm oil by enzymatic remediation. *Journal of Oil Palm Research*, 24, 1492–1496.
- Cren, É. C., & Meirelles, A. J. A. (2012). Oleic acid removal from ethanolic solutions by ion exchange. *Chemical Engineering Journal*, 184, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.014>
- De Almeida, D. T., Nunes, I. L., Conde, P. L., Rosa, R. P. S., Rogério, W. F., & Machado, E. R. (2013). A quality assessment of crude palm oil marketed in Bahia, Brazil. *Grasas y Aceites*, 64(4), 387–394. <https://doi.org/10.3989/gya.118412>
- Elabbas, S., Mandi, L., Berrekhis, F., Pons, M. N., Leclerc, J. P., & Ouazzani, N. (2016). Removal of Cr(III) from chrome tanning wastewater by adsorption using two natural carbonaceous materials: Eggshell and powdered marble. *Journal of Environmental Management*, 166, 589–595. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.012>
- Etim, U. J., Umoren, S. A., & Eduok, U. M. (2016). Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20, S67–S76. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.09.014>
- Fatin, S. ., Rosnah, S., & Yunus, R. (2014). Effect of Chopping Oil Palm Fruit Spikelets on the Free Fatty Acid Content Release Rate and Its Mechanical Properties. *International Journal of*

Research in Engineering and Technology, 03(01), 511–516.
<https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0301086>

Guliyev, N. G., Ibrahimov, H. J., Alekperov, J. A., Amirov, F. A., & Ibrahimova, Z. M. (2018). Investigation of activated carbon obtained from the liquid products of pyrolysis in sunflower oil bleaching process. *International Journal of Industrial Chemistry*, 9, 277–284. <https://doi.org/10.1007/s40090-018-0156-1>

Hashim, H., Yusup, S., & Arlabosse, P. (2019). Extraction of crude palm oil (CPO) using thermally assisted mechanical dewatering (TAMD) and their characterization during storage. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2124, pp. 1–6). <https://doi.org/10.1063/1.5117130>

Henry, O. H. (2011). Monitoring the free fatty acid level of crude palm oil stored under light of different Wavelengths. *American Journal of Food Technology*, 6(8), 701–704. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.701.704>

Ifa, L., Nurjannah, N., Aladin, A., Sabara, Z., & Jusoff, K. (2013). Identification of urethane linkage, soft segment polyol and hard segment polyurea in polyuretan from palm oil based polyol. *World Applied Sciences Journal*, 26, 50–54. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.26.nrrdsi.26009>

Ifa, La, Wiyani, L., Nurdjannah, N., Ghalib, A. M. T., Ramadhaniar, S., & Kusuma, H. S. (2021). Analysis of Bentonite Performance on the Quality of Refined Crude Palm Oil's Color, Free Fatty Acid and Carotene: The Effect of Bentonite Concentration and Contact Time. *Heliyon*, 7(June), e07230. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07230>

Itodo, H. U., & Itodo, A. U. (2010). Surface Coverage and Adsorption Study of Dye Uptake by Derived Acid and Base Treated Mango Seed Shells. *Journal Chemical Pharmacy Resources*, 2(3), 673–683.

Jumaah, M. A., Mohamad Yusoff, M. F., Salimon, J., & Bahadi, M. (2019). Physical Characteristics of Palm Fatty Acid Distillate.

Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, 12(01), 1–5.
<https://doi.org/10.30558/jchps.20191201001>

Kumar, P. S., Ramalingam, S., Senthamarai, C., Niranjanaa, M., Vijayalakshmi, P., & Sivanesan, S. (2010). Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. *Desalination*, 261, 52–60.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.032>

Lin, S. W. (2004). Deterioration of bleachability index. *MPOB Information Eries*, 1–2.

Naat, J. N., Neolaka, Y. A. B., Lapailaka, T., Rachmat Triandi, T., Sabarudin, A., Darmokoesoemo, H., & Kusuma, H. S. (2021). Adsorption of Cu(II) and Pb(II) using silica@mercapto (hs@m) hybrid adsorbent synthesized from silica of Takari sand: Optimization of parameters and kinetics. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(1), 550–560.
<https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1415803>

Ndé, H. S., Tamfuh, P. A., Clet, G., Vieillard, J., Mbognou, M. T., & Woumfo, E. D. (2019). Comparison of HCl and H₂SO₄ for the acid activation of a cameroonian smectite soil clay: palm oil discolouration and landfill leachate treatment. *Heliyon*, 5, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02926>

Olufemi, B. A., & Otolorin, F. (2017). Comparative adsorption of crude oil using mango (*Mangnifera indica*) shell and mango shell activated carbon. *Environmental Engineering Research*, 22(4), 384–392. <https://doi.org/10.4491/eer.2017.011>

Onwuliri, V. A., Igwe, C. U., Golu, M. D., & Agha, N. C. (2011). Assessment of the quality of some edible vegetable oils consumed in northern Nigeria. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(7), 897–905.

Pérez Marín, A. B., Aguilar, M. I., Meseguer, V. F., Ortuño, J. F., Sáez, J., & Lloréns, M. (2009). Biosorption of chromium (III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: Batch and continuous

- studies. *Chemical Engineering Journal*, 155(1–2), 199–206.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.07.034>
- Purwasasmita, M., Nabu, E. B. P., Khoiruddin, & Wenten, I. G. (2015). Non dispersive chemical deacidification of crude palm oil in hollow fiber membrane contactor. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(4), 426–446.
<https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.4.6>
- Putranti, M. L. T. A., Wirawan, S. K., & Bendiyasa, I. M. (2018). Adsorption of Free Fatty Acid (FFA) in Low-Grade Cooking Oil Used Activated Natural Zeolite as Adsorbent. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 299, pp. 1–9).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/299/1/012085>
- Raju, D. S. S. R., Kiran, G. A. R., & Rao, D. V. N. (2013). Comparison Studies on Biosorption of Lead (Pb) From an Aqueous Solution Using Anacardium Occidentale and Carica Papaya, 1(3), 273–283.
- Ribeiro, J. A. A., Almeida, E. S., Neto, B. A. D., Abdelnur, P. V., & Monteiro, S. (2018). Identification of carotenoid isomers in crude and bleached palm oils by mass spectrometry. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 631–637.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.039>
- Riyadi, A. H., Muchtadi, T. R., Andarwulan, N., & Haryati, T. (2016). Pilot Plant Study of Red Palm Oil Deodorization Using Moderate Temperature. In *Agriculture and Agricultural Science Procedia* (Vol. 9, pp. 209–216). Elsevier Srl.
<https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.129>
- Salman, J. M., Njoku, V. O., & Hameed, B. H. (2011). Batch and fixed-bed adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid onto oil palm frond activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 33–40.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.024>
- Sampaio, K. A., Ceriani, R., Silva, S. M., Taham, T., & Meirelles, A. J. A. (2011). Steam deacidification of palm oil. *Food and*

Bioproducts Processing, 89, 383–390.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.012>

Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verh, R., Stevens, C., Greyt, W. De, & Meirelles, A. J. A. (2014). Effect of type of bleaching earth on the final color of refined palm oil. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 1258–1264.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.028>

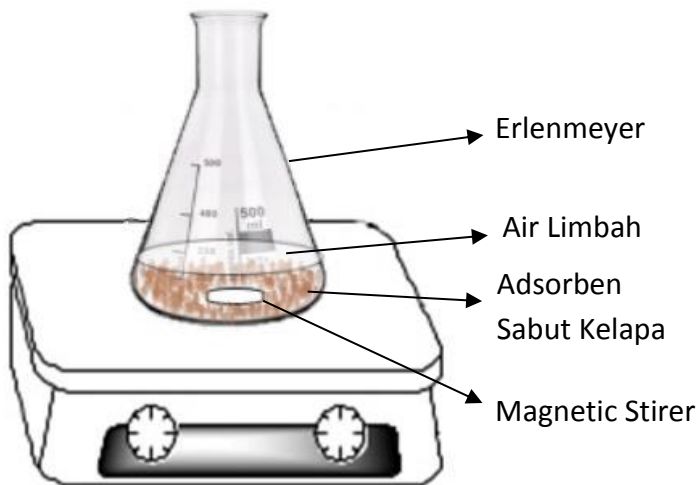
Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., De Greyt, W., & Meirelles, A. J. A. (2013). Adsorption of carotenes and phosphorus from palm oil onto acid activated bleaching earth: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of Food Engineering*, 118, 341–349.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.026>

Tian, G., Wang, W., Mu, B., Kang, Y., & Wang, A. (2015). Facile fabrication of carbon/attapulgite composite for bleaching of palm oil. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50, 252–258.
<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.12.021>

Wambu, E. W., Muthakia, G. K., Wa-Thiong'o, J. K., & Shiundu, P. M. (2011). Kinetics and thermodynamics of aqueous Cu(II) adsorption on heat regenerated spent bleaching earth. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 25(2), 181–190.
<https://doi.org/10.4314/bcse.v25i2.65857>

4.2.1 Metodologi Penelitian

Alat utama yang digunakan untuk proses adsorpsi adalah erlenmeyer 250 mL dan *magnetic stirrer* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.1. Adapun alat instrumen yang digunakan adalah Atomic Absorption Spektrofotometer (AAS) Shimadzu AA-7000 dengan panjang gelombang pada 283,0 nm, laju alir asetile



Gambar 4.2.1 Rangkaian Alat Proses Adsorpsi

4.2.1.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan yaitu sabut kelapa, diperoleh di Pasar Daya Makassar.

Sampel limbah yang mengandung Pb(II) memiliki konsentrasi 0,17 ppm. Larutan standar Pb 1000 ppm dari Merck, natrium hidoksida (NaOH) dan aquadest diperoleh di CV Intrako Makassar.

4.2.1.2 Pembuatan Adsorben Sabut Kelapa

Serat sabut kelapa dicuci bersih dan dibilas dengan aquadest, kemudian dikeringkan dengan panas matahari selama 8 jam. Selanjutnya, butiran serat kelapa dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C. Serbuk serat kelapa kemudian disimpan dalam desikator dan digunakan sebagai bioadsorben tanpa melalui aktivasi.

4.2.1.3 Uji Pendahuluan Terhadap Zat Warna *Methylene Blue*

Uji pendahuluan (daya jerap bioadsorben sabut menggunakan *methylene blue*, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan warna larutan dari biru menjadi warna kuning. Proses ini menandakan bahwa bioadsorben sabut kelapa dapat digunakan, karena dapat menyerap warna biru dari larutan *methylene blue*.

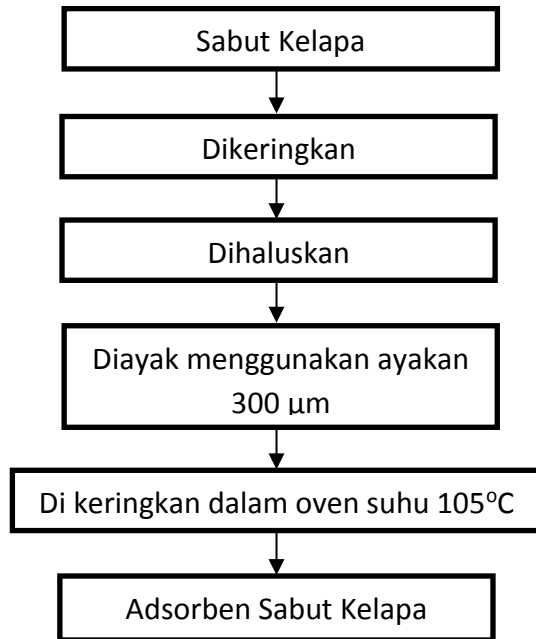
4.2.1.4 Penentuan pH Optimum Bioadsorben secara AAS

Bioadsorben dimasukkan ke dalam botol sampel dan ditambahkan 30,0 mL larutan Pb(II) 40 ppm. Deret pH larutan 4,7 dan 11 dibuat, kemudian dihomogenkan. Campuran disaring dengan kertas saring Whatman 42 dan filtratnya diambil untuk analisis Pb(II) yang tersisa menggunakan AAS dengan panjang gelombang 283,3 nm.

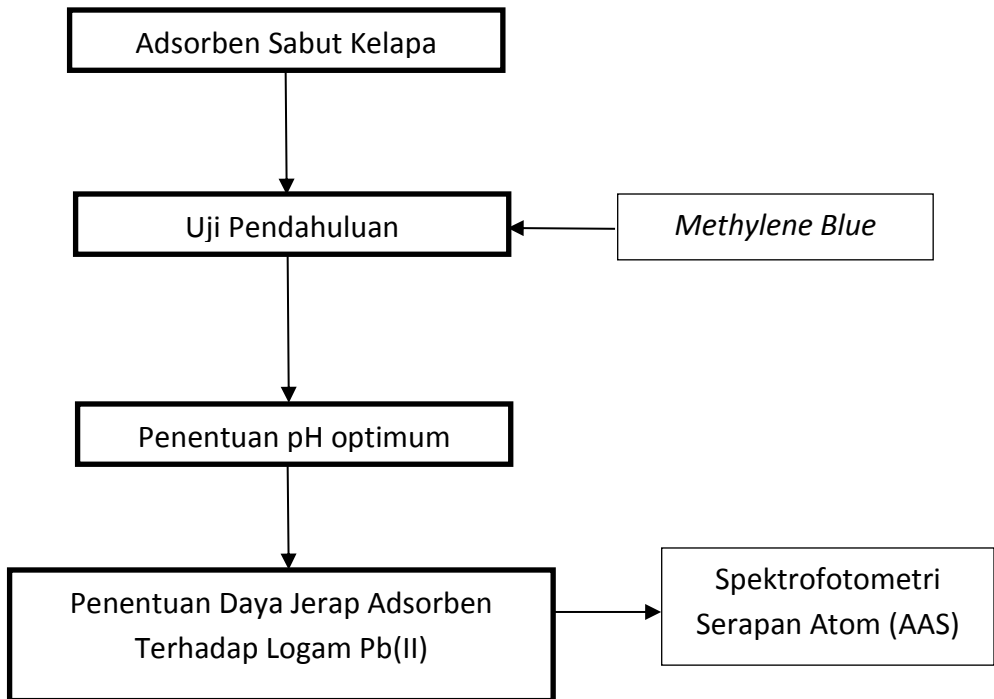
4.2.1.5 Penentuan Waktu Optimum Bioadsorben secara AAS

Bioadsorben dimasukkan ke dalam botol sampel, kemudian ditambahkan 30,0 mL larutan Pb(II) murni dan air limbah yang mengandung Pb(II), kedalam erlenmeyer. Proses selanjutnya kemudian dihomogenkan dengan dibuat deret waktu kontak 1,2,3 dan 4 jam. Campuran disaring 2 dan filtratnya dianalisa untuk konsentrasi Pb(II) yang tersisa menggunakan AAS dengan panjang gelombang 283,3 nm.

Diagram Alir Pembuatan Adsorben Sabut Kelapa



Gambar 4.2.2 Diagram Alir Pembuatan Adsorben
Penentuan Daya Jerap Adsorben Terhadap Logam
Pb(II)



Gambar 4.2.3 Diagram AlirPenentuan Daya Jerap Adsorben Terhadap Logam Pb(II)

4.2.2 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan tahap pendahuluan, antara lain pemeriksaan air limbah meliputi pengukuran kandungan Pb(II) menggunakan AAS dan uji pendahuluan terhadap daya jerap bioadsorben sabut kelapa dengan menggunakan larutan *methylene blue*. Hasil pengukuran kadar logam Pb(II) pada limbah yaitu dengan konsentrasi 0,17 ppm.

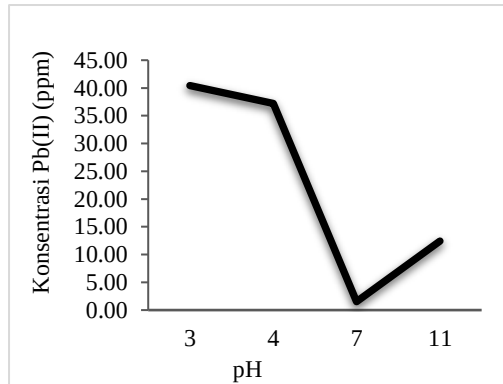
Hasil penurunan adsorpsi logam Pb(II) ditentukan berdasarkan perbedaan pH yang digunakan (3, 4, 7 dan 11) dan waktu kontak (0, 1, 2,3 dan 4 jam). Penurunan adsorpsi ini dapat dianalisa dengan menghitung efektivitas penurunan (E_f) yaitu kandungan logam berat awal (Y_i) dikurangi dengan kandungan logam berat akhir (Y_f) per kandungan logam berat awal (Y_i) dalam mg/L seperti pada persamaan 1: (Larasati, Susanawati, & Suharto, 2015)

$$E_f(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \quad (1)$$

4.2.2.1 Pengaruh pH terhadap Konsentrasi Pb(II) dengan Waktu Kontak 3 Jam

Karakteristik dari bioadsorben sabut kelapa dipelajari dengan menentukan pH. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pada rentang pH berapa bioadsorben berinteraksi dengan ion logam.

Pengaruh pH (3, 4, 7 dan 11) terhadap konsentrasi Pb(II) yang terjerap ditunjukkan pada Gambar 4.2.4



Gambar 4.2.4 Hubungan pH terhadap Konsentrasi Pb(II) dengan Waktu Kontak 3 Jam

Gambar 4.2.4. menunjukkan bahwa pada pH asam, memiliki nilai penjerapan terbaik dibandingkan pada kondisi pH basa. Hal ini disebabkan karena meningkatnya protonasi oleh penetralan muatan negatif dari permukaan bioadsorben. Nilai penjerapan terbaik bioadsorben sabut kelapa terjadi pada pH Netral (7) sebesar 96,25%. Hasil penelitian ini sejalan dengan Asnawati *et al.* (2017) yang menemukan bahwa hasil optimum berada pada pH netral (7) (Asnawati *et al.*, 2017). Gambar 2 menunjukkan kecenderungan bahwa pada pH rendah (3 - 4) kapasitas adsorsi Pb(II)

relatif kecil dengan penurunan kadar Pb(II) sebesar 7,95%. Namun pada pH menengah (4 - 7), kapasitas adsorpsi relatif tinggi dengan penurunan kadar Pb(II) sebesar 96,25%. Dalam banyak kasus, ion logam berat teradsorpsi pada kisaran pH 4 hingga 7 (Lai *et al.*, 2010)

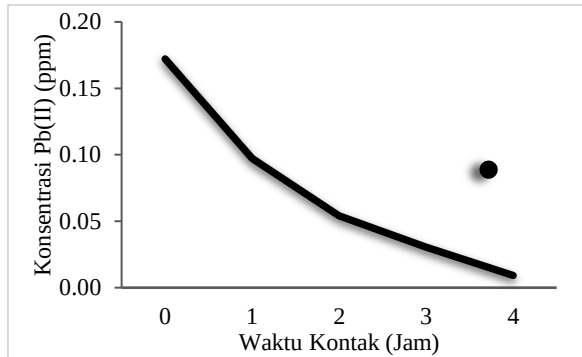
Menurut Safriani *et al* (2002) kapasitas adsorpsi Pb(II) relatif kecil pada pH rendah karena banyaknya ion H^+ pada larutan akan berkompetisi dengan ion logam Pb(II) untuk berikatan dengan gugus fungsi pada permukaan bioadsorben, namun kapasitas adsorpsi relatif tinggi pada pH 7 dengan penurunan kadar Pb(II) yakni sebesar 96,25% (Safrianti *et al.*, 2012). Hal ini dikarenakan ion OH^- (yang berasal dari penambahan $NH_4(OH)$) dalam larutan lebih banyak dan gugus fungsi bioadsorben memiliki muatan negatif, sehingga kompetisi ion H^+ dengan ion Pb(II) berkurang dalam ikatan dengan gugus fungsi bioadsorben. Hal ini menyebabkan semakin banyak logam Pb(II) yang dapat terjerap. Sehingga,

kondisi larutan sampel air limbah yang akan menurunkan kadar logam Pb(II) diatur pada pH 7 dengan cara penambahan NH_4OH 10% dengan jumlah yang ditambahkan sesuai kebutuhan.

Menurut Hasril (2015), gugus aktif bioadsorben cenderung berada dalam keadaan terprotonasi dan bermuatan parsial positif pada pH rendah, sehingga terjadi tolakan elektrostatis antara situs aktif bioadsorben dengan ion logam Pb(II). Pada kondisi ini, terjadi kompetisi antara muatan yang sama sehingga terjadi penurunan kemampuan bioadsorben dalam menjebak ion logam Pb(II).

4.2.2.2 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Konsentrasi Pb(II) pada pH 7

Untuk mendapatkan kondisi pengolahan air limbah yang optimum, maka dilakukan penentuan waktu kontak sesuai dengan pH dan dosis bioadsorben yang telah didapatkan sebelumnya. Pengaruh waktu kontak (0, 1, 2,3 dan 4 jam) terhadap konsentrasi Pb(II) disajikan pada Gambar 4.2.5.



Gambar 4.2.5. Hubungan Waktu Kontak Terhadap Konsentrasi Pb(II) dalam Sampel Air limbah pada pH 7 (pH optimum)

Gambar 4.2.5 menunjukkan bahwa pada awal waktu kontak, adsorbat belum terjerap dan pada waktu kontak 1 jam, adsorbat akan bergerak oleh adanya turbulensi putaran untuk mencari ruang yang kosong. Pemenuhan volume pori dipengaruhi oleh waktu kontak. Semakin lama waktu kontak memungkinkan adsorbat terdorong hingga ujung pori, dan memberikan ruang pori didepan untuk diisi oleh adsorbat baru (Alimano & Syafila, 2014). Semakin lama waktu kontak maka jumlah adsorbat yang terjerap

pada permukaan bioadsorben semakin meningkat, sehingga semakin sedikit konsentrasi Pb(II) yang terdapat dalam sampel air limbah. Hal ini sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu (Sanjaya & Agustine, 2015), (Alimano & Syafila, 2014). Semakin lama waktu kontak maka gugus fungsi hidroksil (-OH dari CH₂OH) bioadsorben selulosa berinteraksi maksimal dengan logam Pb(II) (Safrianti *et al.*, 2012).

Gambar 4.2.5 menunjukkan bahwa waktu kontak terbaik adalah 4 jam dimana bioadsorben mampu menyerap adsorbat sebesar 94,66%. Hasil ini lebih besar dari beberapa penelitian sebelumnya seperti Anjani and Koestiari (2014) sebesar 93,19% (Anjani & Koestiari, 2014), Gultom and Lubis(2014) sebesar 80,13% (Gultom & Lubis, 2014), Zaini and Sami(2016) sebesar 64,98% (Zaini & Sami, 2016), Hajar *et al.* (2016) sebesar 91,12% (Hajar *et al.*, 2016), Prasetyo *et al.* (2018) sebesar 89,73% (Prasetyo *et al.*,

2018), Ifa *et al.* (2018) sebesar 73,93% (Ifa *et al.*, (2018), Ifa *et al.*(2019) sebesar 82,52% (La Ifa *et al.*, 2019). Menurut penelitian (Nafi'ah R., 2016), hal ini disebabkan karena semakin lama waktu kontak maka kesempatan partikel bioadsorben untuk bersinggungan dengan ion logam lebih besar, sehingga ion logam yang terikat dalam pori-pori bioadsorben semakin banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimano, M., & Syafila, M. (2014). Diameter Pori Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Adsorpsi Minyak Jelantah. *Teknik Lingkungan*, 20(2), 173–182.
- Anjani, R. P., & Koestiari, T. (2014). GRANULAR ACTIVATED CARBON ADSORPTION USED FOR ADSORBENT TO REMOVAL HEAVY METAL Pb (II) WITH COMPETITOR ION Na +. *UNESA Journal of Chemistry*, 3(3), 159–163.
- Asnawati, A., Kharismaningrum, R. R., & Andarini, N. (2017). Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B dalam Sistem Dinamis. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1), 23. <https://doi.org/10.20473/jkr.v2i1.3553>
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). APLIKASI KARBON AKTIF DARI CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN AKTIVATOR H₃PO₄ UNTUK PENYERAPAN LOGAM BERAT Cd DAN Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1), 5–10. <https://doi.org/10.32734/jtk.v3i1.1493>
- Hajar, E. W. I., Sitorus, R. S., Mulianingtias, N., & Welan, F. J. (2016). Efektivitas Adsorpsi Logam Pb 2+ dan Cd 2+ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/k.v5i1.1077>
- Ifa, L., Agus, M. A., Kasmudin, K., & Artiningsih, A. (2019). Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi. *Jurnal Teknik*, 18(02), 109–113.
- Ifa, L., Akbar, M., Ramli, A. F., & Wiyani, L. (2018). PEMANFAATAN CANGKANG KERANG DAN CANGKANG KEPITING SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Cu , Pb dan Zn

PADA LIMBAH INDUSTRI PERTAMBANGAN EMAS.
Journal Of Chemical Process Engineering, 03(01), 33–37.

Ifa, L., Pakala, F. R., Jaya, F., & Majid, R. A. (2020). Pemanfaatan Sabut Kelapa Sebagai Bioadsorben Logam Berat Pb(II) Pada Air Limbah Industri. *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(1), 54–60.
<https://doi.org/10.33536/jcpe.v5i1.476>

Lai, Y. L., Thirumavalavan, M., & Lee, J. F. (2010). Effective adsorption of heavy metal ions (Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) from aqueous solution by immobilization of adsorbents on Ca-alginate beads. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 92(4), 697–705.
<https://doi.org/10.1080/02772240903057382>

Larasati, A. I., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2015). The Effectiveness of Heavy Metals Adsorptions on Leachate by Activated Carbon , Zeolite , and Silica Gel in TPA Tlekung , Batu. *Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 2(1), 44–48.

Nafi'ah R. (2016). KINETIKA ADSORPSI Pb (II) DENGAN ADSORBEN ARANG AKTIF DARI SABUT SIWALAN. *Jurnal Farmasi Sains Dan Praktis*, 1(2), 28–37.

Prasetyo, K., Azis, Y., & Komalasari. (2018). ADSORPSI LOGAM Cd, Cu DAN Pb DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBAN, HIDROKSIAPATIT (HA) SEBAGAI. *Teknik*, 5(2), 1–4.

Safrianti, I., Wahyuni, N., & Zaharah, T. A. (2012). ADSORPSI TIMBAL (II) OLEH SELULOSA LIMBAH JERAMI PADI TERAKTIVASI ASAM NITRAT: PENGARUH pH DAN WAKTU KONTAK. *JKK*, 1(2002), 1–7.

Sanjaya, A. S., & Agustine, R. P. (2015). STUDI KINETIKA ADSORPSI Pb MENGGUNAKAN ARANG AKTIF DARI

KULIT PISANG. *Konvesri*, 4(1), 17–24.
[https://doi.org/10-7047](https://doi.org/10.1167/iov.10-7047) [pii] 10.1167/iov.10-7047

Zaini, H., & Sami, M. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) dalam Air Limbah Laboratorium Kimia menggunakan Sistem Komom dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. In *Teknik Kimia* (pp. 1–9).

4.3. Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Canggang Bekicot Terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi (La Ifa *et al.*, 2019)

4.3.1. Pembuatan Kitosan

Bahan utama yang digunakan adalah canggang bekicot, sampel air lindi dengan kadar Cu(II) 0.0572 mg/L yang diperoleh dari TPA Antang Makassar, natrium hidroksida (NaOH), hidrogen klorida (HCl), dan asam asetat (CH₃COOH).

Penelitian ini terdiri dari dua tahapan, yakni pembuatan kitosan dari canggang bekicot dan penerapan kitosan sebagai penjerap Cu(II). Canggang bekicot sebanyak 50 gr deproteinasi menggunakan larutan NaOH 2N dengan rasio 1:6 (b/v). Campuran dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 90°C selama 1 jam dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, kemudian dipisahkan dan dikeringkan didalam oven (Rahayu, 2004). Selanjutnya proses demineralisasi dengan menggunakan HCl 1 N dengan rasio 1:12 (b/v). Pengadukan dilakukan selama 1 jam pada suhu ruang, yang selanjutnya dipisahkan dan dikeringkan dengan oven. Selanjutnya proses deasetilasi dengan menggunakan NaOH 50% dengan perbandingan 1:10

(b/v) kemudian dipanaskan pada suhu 70-80°C selama 90 menit. Campuran dipisahkan kemudian dikeringkan dengan oven dan diperoleh kitosan dengan bobot 32,550 gr. Kitosan hasil dianalisa dengan teknik *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui adsorbansi sebagai data perhitungan derajat deasetilasi.

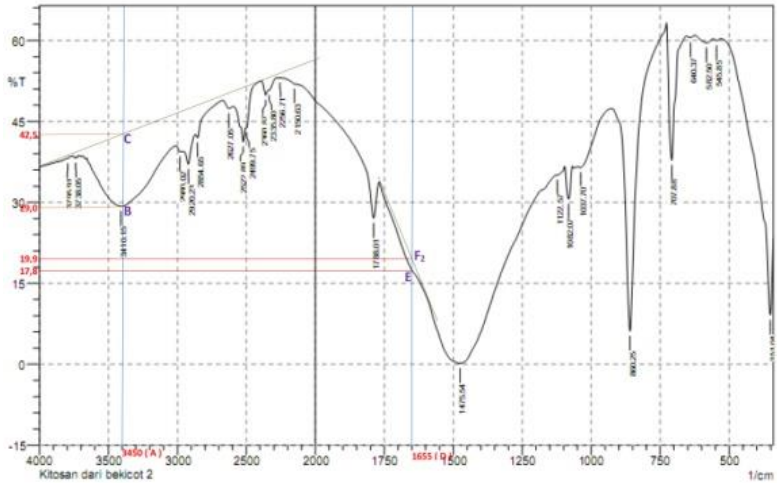
Kitosan 10.000 mg/L dengan volume masing-masing: (2, 4, 6, 8 dan 10) mL dilarutkan kedalam 1 L sampel air lindi, kemudian diaduk selama 15 menit, setelah itu disaring. Selanjutnya kadar Cu(II) dari sampel tersebut diukur dengan menggunakan AAS, metode uji SNI 06-6989.6: 2009 di laboratorium Balai Besar Hasil Perkebunan Makassar.

4.3.2 Hasil dan Pembahasan

4.3.2.1 Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan

Gambar 4.3.1 hasil uji FTIR, menunjukkan bahwa kitosan hasil penelitian mengandung gugus OH⁻ dengan adanya peak 3450 cm⁻¹ yang berguna untuk melepaskan gugus asetil dari gugus asetamida dan menghasilkan gugus amina (NH₂) yang memiliki

kemampuan untuk mengikat logam. Data pada Gambar 4.3.1 digunakan untuk menghitung derajat deasetilasi kitosan.



Gambar 4.3.1. Hasil Uji FTIR

Berdasarkan data pada Gambar 4.3.1, diketahui bahwa:

$$DF_2 = 19,9$$

$$DE = 17,8$$

$$AC = 42,5$$

$$AB = 29,0$$

Absorbansi A1655 dan A3450 dihitung menggunakan Persamaan (2.4) dan (2.5). Diperoleh hasil bahwa A 1655 adalah sebesar 0.033 sedangkan A3450 adalah sebesar 0.146. Dengan mengguna-

kan persamaan (1), maka derajat deasetilasi (DD) kitosan adalah sebesar 78,062%. telah memenuhi standar dari segi derajat deasetilasi, lebih dari 70% (Aspari dkk., 2010). Menurut Asni dkk., (2014), kitosan yang mempunyai derajat deasetilasi lebih dari 60% dapat digunakan sebagai adsorben. Hasil dari penelitian ini mendekati hasil yang diperoleh dari peneliti-peneliti terdahulu, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.1.

Tabel 4.3.1. Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan Peneliti Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Nilai DD (%)
(Trisnawati, Andesti, & Saleh, 2013)	77,84
(Harjanti, 2014)	70,34
(Adelina, 2010)	50,2
(La Ifa, Akbar, Ramli, & Wiyani, 2018)	73,40
(La Ifa <i>et al.</i> , 2019)	78,06

Derajat deasetilasi berkaitan dengan kemampuan kitosan untuk membentuk interaksi isoelektrik dengan molekul lain dan berpengaruh terhadap daya guna kitosan dalam aplikasinya. Besarnya derajat deasetilasi hasil kitosan

akan berpengaruh terhadap performanya sebagai adsorben ion logam. Tingginya derajat deasetilasi kitosan, maka makin banyak gugus $-NH_2$ sebagai tempat terjadinya penjerapan, sehingga semakin besar kemampuan kitosan dalam mengikat ion logam.

Kitosan dapat mengikat logam Cu(II) dikarenakan adanya gugus amina dan gugus hidroksil yang mampu mengikat ion logam dengan menggunakan prinsip koagulasi. Prinsip koagulasi kitosan adalah penukar ion dimana garam amina yang terbentuk karena reaksi amina dengan asam akan mempertukarkan proton yang dimiliki logam dengan elektron yang dimiliki oleh nitrogen. Larutan logam Cu(II) apabila direaksikan dengan reagen kitosan khususnya dengan gugus aminanya maka akan berubah menjadi koloid yang disebut flok. Logam Cu(II) akan terjerap, terkumpul dan membentuk flok-flok logam. Kemampuan kitosan mengikat logam Cu(II) dari air lindi dikarenakan

adanya kandungan nitrogen yang cukup besar dalam kitosan.

4.4.3.2. Performa Kitosan pada Penurunan Kadar Cu(II) dalam Air Lindi

Performa kitosan diuji cobakan pada penjerapan Cu(II) dalam air lindi. Data karekteristik hasil pengujian kitosan pada sampel air lindi dari hasil analisis AAS dengan variasi penambahan larutan kitosan sebanyak (2, 4, 6, 8, dan 10) ml ditunjukkan pada Tabel 4.3.2.

Tabel 4.3.2. Data Karakteristik Cu(II) dalam Air Lindi Setelah Penambahan Larutan Kitosan

Volume kitosan (ml)	Parameter Cu(II) (mg/L)
2	0,0296
4	0.0116
6	0.0113
8	0.0102
10	0.0100

Berdasarkan data pada Tabel 4.3.2, dapat dilihat bahwa kadar Cu(II) pada sampel cenderung menurun

dengan bertambahnya larutan kitosan yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan banyaknya kitosan memungkinkan luas permukaan kitosan banyak tersedia, sehingga terjadi peningkatan bidang aktif pada kitosan menyebabkan banyak Cu(II) yang dijerap. Bertambahnya volume atau massa kitosan, mengakibatkan luas permukaan kontak adsorben semakin besar. Dari Tabel 4.3.2, menunjukkan bahwa kitosan mampu menyerap Cu(II) sebesar 0.0100 mg/L atau terjadi penurunan kadar Cu(II) sebesar 82,52% pada volume 10 mL. Hasil penelitian terhadap daya jerap ini lebih besar dari hasil penelitian Darjito dkk., (2006) yakni 78,34%. Batas kandungan Cu(II) yang diperbolehkan yaitu 0,02 mg/L (Asriani, 2017). Kitosan yang dibuat dari bekicot dapat digunakan sebagai adsorben Cu(II)

pada air lindi TPA Antang Makassar.

Pada volume 4 mL sampai 8 mL diperoleh jumlah Cu(II) yang terjerap terjadi penurunan. Ini disebabkan kemungkinan sudah mulai terpenuhnya gugus aktif pada permukaan adsorben sehingga kesempatan terjadinya ikatan antara Cu(II) dengan situs aktif menjadi kecil. Pada volume kitosan 8 mL sampai 10 mL diperoleh jumlah Cu(II) yang relatif konstan, disebabkan mulai terjadi kesetimbangan antara adsorbat yang terjerap dengan adsorbat sisa dalam larutan sehingga penambahan volume tidak akan menambah jumlah Cu(II) yang terjerap. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Darjito dkk., (2006), banyaknya kitosan yang digunakan berbanding lurus dengan efisiensi penurunan kadar logam yang diadsorpsi. Semakin

besar volume kitosan yang digunakan maka akan semakin tinggi juga nilai daya adsorpsi terhadap kadar logam (Supriyantini dkk., 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Adelina, P. W. (2010). *Pemanfaatan Kitosan dari Cangkang Rajungan pada Proses Adsorpsi Logam Nikel dari Larutan NiSO₄. Sekripsi.*
- Asriani. (2017). *IDENTIFIKASI LOGAM TEMBAGA (Cu) PADA ZONASI RADIUS 1-5 Km TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) ANTANG MAKASSAR TERHADAP PENGARUH KUALITAS AIR SUMUR GALI. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Alaudin Makassar.*
- Darjito, Purwonugroho, D., & Nisa, S. N. (2006). STUDY ON ADSORPTION OF Cd (II) BY CHITOSAN-ALUMINA. *Indo. J. Chem*, 6(3), 238–244.
- Harjanti, R. S. (2014). Kitosan dari Limbah Udang sebagai Bahan Pengawet Ayam Goreng, 8(1), 12–19.
- Ifa, L., Agus, M. A., Kasmudin, K., & Artiningsih, A. (2019). Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi. *Jurnal Teknik*, 18(02), 109–113.
- Ifa, L., Akbar, M., Ramli, A. F., & Wiyani, L. (2018). PEMANFAATAN CANGKANG KERANG DAN CANGKANG KEPITING SEBAGAI ADSORBEN LOGAM Cu , Pb dan Zn PADA LIMBAH INDUSTRI PERTAMBANGAN EMAS. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 03(01), 33–37.
- Trisnawati, E., Andesti, D., & Saleh, A. (2013). Pembuatan Kitosan dari Limbah Cangkang Kepiting sebagai Bahan Pengawet Buah Duku dengan Variasi Lama Pengawetan. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(2), 17–26.

BIOGRAFI PENULIS



Dr. La Ifa adalah Doktor bidang Teknologi Proses di Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Ia mendapatkan gelar Sarjana Teknik (ST) Teknik Kimia dari Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar (1994), Magister Teknik bidang Teknik Kimia dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya (2002), dan Insinyur (Ir) pada Program Profesi Insinyur Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar (2017). Di samping itu, Dr. La Ifa saat ini menjadi anggota Himpunan Polimer Indonesia (HPI), anggota Asosiasi Dosen Indonesia (ADI) dan anggota Profesi Insinyur Indonesia (PII) dengan gelar Insinyur Profesional Madya dan memperoleh gelar Asean Eng di Bangkok tahun 2017.

Selain aktif mengajar, Dr. La Ifa juga aktif meneliti pada berbagai Skim dengan pendanaan dari Kemenristek DIKTI, seperti: Hibah Bersaing, Hibah Fundamental, Hibah Pascasarjana dan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi. Dr. La Ifa juga aktif menulis buku yang diterbitkan pada Percetakan Nas Media Pustaka pada tahun 2018 dan Percetakan Wade Grup pada tahun 2019. Sejak tahun 1998, diberi amanah pada beberapa jabatan seperti menjadi Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri

(FTI) UMI, tahun 2003 sebagai Kordinator Projek TPSPD batch III, tahun 2010 sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI UMI, Tahun 2012 sebagai Wakil Dekan (WD) I bidang Akademik merangkap WD IV bidang Pengembangan Dakwah dan Kampus Islami, tahun 2014 sampai Mei 2018 sebagai WD IV FTI UMI. Tahun 2019 menjabat sebagai Kepala Halal Centre UMI. Pada Tahun 2021 menjadi Reviewer jurnal EKSERGI (volume 18 No.1 & 2) Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Indutsri, UPN “Veteran” Yogyakarta.dan Reviewer Journal “Environmental Technology & Innovation: Journal Internasional Bereputasi (Q1).

Makassar, September 2021

Dr. Ir. La Ifa, S.T., M.T., IPM, ASEAN ENG

ID SINTA: 5975750, Scopus ID: 55977429500, ORCID (0000-0002-9941-6887)



Dr. Nurdjannah adalah Doktor bidang Teknologi Proses di Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Ia mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.) Teknik Kimia dari Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar (1994), Magister Teknik bidang Teknik Kimia dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya (2003), Program Doktor bidang Teknik Kimia (Teknologi Biofuel) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya (2010) dan Insinyur (Ir.) pada Program Profesi Insinyur Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar (2017). Di samping itu, Dr. Nurdjannah saat ini menjadi anggota Asosiasi Dosen Indonesia (ADI) dan anggota Profesi Insinyur Indonesia (PII) dengan gelar Insinyur Profesional Madya dan memperoleh gelar Asean Eng di Singapura tahun 2018.

Selain aktif mengajar, Dr. Nurdjannah juga aktif meneliti pada berbagai Skim dengan pendanaan dari Kemenristek DIKTI, seperti: Hibah Bersaing, Hibah Fundamental, Hibah Pascasarjana dan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi. Dr. Nurdjannah juga aktif menulis buku yang diterbitkan pada Percetakan Nas Media pada tahun 2018 dan pada percetakan Wade Grup tahun 2019. Sejak tahun 2003, diberi amanah pada beberapa jabatan seperti menjadi Kepala Laboratorium Kimia Dasar Fakultas Teknologi Industri (FTI) UMI, tahun 2012 sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia merangkap Kepala Laboratorium Operasi Teknik Kimia FTI UMI, tahun 2014 sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI UMI sampai tahun 2019. Tahun 2019 kembali menjabat

Kepala Laboratorium Operasi Teknik Kimia FTI UMI sampai
sekarang

Makassar, September 2021

Dr. Ir. Nurdjannah, S.T., M.T., IPM, ASEAN ENG



Takdir Syarif lahir di Ujung Pandang pada tanggal 07 Januari 1975. Menyelesaikan pendidikan dasar dan menengah (SD, SMP, dan SMA) di kota kelahirannya tersebut. Pada tahun 1993 menempuh pendidikan S1 Teknik Kimia di Universitas Muslim Indonesia,

Makassar dan menyelesaikannya pada tahun 1999. Sejak tahun 2003, diberi amanah sebagai Sekertaris Jurusan Teknik Kimia FTI UMI, tahun 2009 sebagai Sekertaris Pusat Pengendalian Data dan Informasi (PPDI), tahun 2011 sampai 2014 diangkat sebagai Kepala PPDI. Pada tahun 2005, ia menempuh pendidikan S2 Teknik Kimia di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta dan lulus pada tahun 2007 dengan predikat *Cum Laude*. Tahun 2014 ia menempuh pendidikan S3 di bidang Teknik Kimia di Universitas Gadjah Mada dan selesai pada tahun 2017 dengan predikat *Cum Laude*. Mulai bekerja sebagai Dosen Tetap di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia pada tahun 2000. Selain sebagai dosen tetap, penulis juga aktif melakukan penelitian pada berbagai Skim dengan pendanaan dari Kemenristek DIKTI, seperti: Hibah Bersaing, Hibah Fundamental, Hibah Pascasarjana dan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, Penelitian Disertasi Doktor, dan Hibah Pengabdian pada Masyarakat.

Selain mengajar dan meneliti, penulis juga aktif sebagai pemateri pada berbagai pelatihan *Software for Chemical Engineering*. Beberapa diantaranya adalah pelatihan *Advance System for Process Engineering (ASPEN)* di Universitas Fajar pada tahun 2007, pelatihan ASPEN dan *Excel for Engineering*

yang diikuti oleh mahasiswa Teknik Kimia se-Kota Makassar pada tahun 2008. Pada tahun 2016 memberikan pelatihan Matrix Laboratory (MATLAB) bagi mahasiswa S3 jurusan Teknik Kimia UGM dan pada tahun 20018 memberikan pelatihan ASPEN dan MATLAB bagi mahasiswa Teknik Kimia UMI bekerja sama dengan INERT *Research Club*. Matakuliah yang pernah diampunya antara lain Kalkulus, Fisika, Pemodelan Matematis, Komputasi Proses, Teknik *Software*, Perpindahan Panas, Matematika Teknik Kimia.



Darnengsih adalah Dosen Muda yang bergabung pada tahun 2015 di Jurusan Teknik Kimia FTI-UMI. Ia mendapatkan gelar Sarjana Teknik (ST) Teknik Kimia dari Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar (2010), Magister Teknik bidang Teknik Kimia dari Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar (2015), dan Insinyur (Ir) pada Program Profesi Insinyur Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar (2017). Di samping itu, Darnengsih saat ini menjadi anggota Asosiasi Dosen Indonesia (ADI) dan anggota Profesi Insinyur Indonesia (PII) dengan gelar Insinyur Profesional Pratama. Selain aktif mengajar, Darnengsih juga aktif meneliti pada berbagai Skim dengan pendanaan Internal UMI, seperti: Penelitian Pemula dan Penelitian Internal. Sejak tahun 2018, diberi amanah pada beberapa jabatan seperti menjadi Kepala Laboratorium Proses Teknik Kimia, Kepala Laboratorium Fisika Dasar FTI-UMI, Editor Journal Of Chemical process Engineering (JCPE). Mempunyai hobi membaca, jalan-jalan, dan senang bekerja dalam tim, untuk minat dalam penelitan adalah dalam bidang Teknologi Energi Baru dan Terbarukan, Kimia Lingkungan.

Makassar, September 2021

Ir. Darnengsih, S.T., M.T., IPP

Adsorpsi merupakan peristiwa penjerapan bahan dari komponen suatu fluida, cairan, maupun gas di daerah antar fase dimana bahan yang akan dipisahkan, terikat di permukaan suatu zat padat. Proses ini membentuk suatu lapisan tipis adsorbat (komponen yang terjerap) fase cair (pelarut) pada permukaan adsorben (zat yang menyerap) fase padat. Sifat adsorpsi pada permukaan zat padat sangat selektif artinya pada campuran zat hanya satu komponen yang terjerap oleh zat padat tertentu.

Kapasitas adsorpsi merupakan ukuran kemampuan suatu adsorben menarik sejumlah adsorbat. Material adsorben dicirikan memiliki pori dan luas permukaan yang tinggi yang memungkinkan adanya interaksi yang efektif dengan molekul adsorbat atau molekul target. Makin luas permukaannya maka kapasitas adsorpsinya akan makin kuat. Proses pembuatan bioadsorben dilakukan melalui dehidrasi yaitu proses penghilangan air, proses karbonisasi (proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon, serta mengeluarkan senyawa-senyawa non karbon) dan proses aktivasi karbon untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang sehingga meningkatkan porositas arang. Interaksi permukaan ini terjadi secara umum ketika energi yang menarik dari suatu zat dengan permukaan yang padat lebih besar daripada energi kohesif dari zat itu sendiri. Besarnya energi inilah yang akan menentukan apakah interaksi di dalam adsorpsi termasuk ke dalam adsorpsi kimiawi (*Chemisorption*) atau adsorpsi fisika (*Physisorption*). Banyak faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi biomassa termasuk konsentrasi adsorbat awal, dosis adsorben, suhu, pH, waktu kontak, kecepatan pengadukan, dan ukuran partikel.

Buku ini merupakan kompilasi dari berbagai perspektif sintesis dan aplikasi bioadsorben dan merupakan luaran dari Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Dikti tahun 2021-2022. Universitas Muslim Indonesia Makassar sebagai institusi pendidikan dan dakwah, luaran pembelajaran merupakan salah satu keunggulan sebagai bagian cita-cita memelihara dan menjaga ilmu agar dapat lebih bermanfaat bagi masyarakat. Tim penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu dan/atau mendukung penyusunan buku ini. Semoga dapat menjadi bahan pembelajaran pada kuliah-kuliah terkait dan bermanfaat.



Penerbit Yayasan Pendidikan Cendekia Muslim
Perum Gardena Maisa 2, C.12, Koto Baru, Kubung,
Solok Sumatra Barat – Indonesia 27361
Email : ceudekiamuslimpress@gmail.com
Website : www.ceudekiamuslim.com



IKAPI
IKATAN PENERBIT INDONESIA

