

**POTENSI LIMBAH KULIT PINANG (*Arecha catechu L.*)
SEBAGAI KARBON AKTIF UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA
TEKSTIL**

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

MUHAMMAD RAFDI

NIM. 190208003

**Mahasiswa Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan
Prodi Pendidikan Kimia**



**FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM – BANDA ACEH
2023 M/1445 H**

**POTENSI LIMBAH KULIT PINANG (*Arecha catechu L.*)
SEBAGAI KARBON AKTIF UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA
TEKSTIL**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan (FTK) UIN Ar-raniry Banda
Aceh Sebagai Salah Satu Persyaratan Penulisan Skripsi
dalam Ilmu Pendidikan Kimia

Oleh

Muhammad Rafdi
NIM. 190208003

Mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
Prodi Pendidikan Kimia

Disetujui oleh :

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

Pembimbing I,



Adean Mayasri, M.Sc
NIP. 199203122018012002

Pembimbing II,



Muhammad Reza, M.Si
NIP. 199402102020121015

**POTENSI LIMBAH KULIT PINANG (*Arecha catechu L.*)
SEBAGAI KARBON AKTIF UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA
TEKSTIL**

SKRIPSI

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi Fakultas Tarbiyah dan
Keguruan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh dan
dinyatakan Lulus Serta Diterima sebagai Salah Satu Beban Studi untuk
Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Pendidikan Kimia

Pada Hari/Tanggal :

Senin, 14 Agustus 2023
27 Muharram 1445 H

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi:

Ketua,



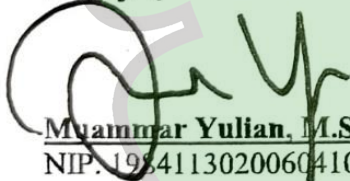
Adean Mayasri, M.Sc
NIP. 199203122018012002

Sekretaris,



Muhammad Reza, M.Si
NIP. 199402122020121015

Penguji I,



Muammar Yulian, M.Si
NIP. 198411302006041002

Penguji II,



Mukhlis, S.T., M.Pd
NIP. 197211102007011050

جامعة الرانيري

AR-RANIRY

Mengetahui,

Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Prof. Safrul M., S.Ag, MA., M.Ed., Ph.D
NIP. 197301021990031003



LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH/SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rafdi

NIM : 190208003

Prodi : Pendidikan Kimia

Fakultas : Tarbiyah dan Keguruan

Judul Skripsi : Potensi Limbah Kulit Pinang (*Arecha Catechu L.*) sebagai Karbon Aktif untuk Adsorpsi Zat Warna Tekstil.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penelitian skripsi, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber ahli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 8 Agustus 2023

Menyatakan,



Muhammad Rafdi

ABSTRAK

Nama : Muhammad Rafdi
NIM : 190208003
Prodi : Pendidikan Kimia
Fakultas : Tarbiyah dan Keguruan
Judul Skripsi : Potensi Limbah Kulit Pinang (*Arecha catechu L.*) sebagai Karbon Aktif untuk Adsorpsi Zat Warna Tekstil.
Tanggal Sidang : 14 Agustus 2023
Tebal Skripsi : 102 halaman
Pembimbing I : Adean Mayasri, M.Sc
Pembimbing II : Muhammad Reza, M.Si
Kata Kunci : Kulit pinang, Metilen Biru, Adsorpsi

Salah satu limbah tekstil yang paling sering dijumpai pada cemaran air, yaitu zat warna metilen biru yang memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan bila dikonsumsi. Solusi terhadap permasalahan tersebut, yaitu pembuatan adsorben yang ramah lingkungan bersumber dari biomassa salah satunya dari limbah kulit pinang (*Arecha catechu L.*). Limbah kulit pinang berpotensi untuk ditingkatkan nilai ekonomisnya sebagai adsorben karbon aktif untuk menyerap limbah zat warna tekstil metilen biru. Tujuan dari penelitian ini adalah mensintesis karbon aktif dari limbah kulit pinang dan menghitung daya adsorpsi karbon aktif untuk adsorpsi zat warna tekstil metilen biru. Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini, yaitu preparasi sampel, karbonisasi, sokletasi serta aktivasi karbon dan pengujian daya serap. Karbonisasi dilakukan pada temperatur dan waktu optimum 500 °C selama 4 jam berdasarkan parameter kadar abu terendah, yaitu 7,2%. Hasil Karakterisasi gugus fungsi FTIR, karbon aktif terdapat beberapa gugus fungsi –OH, C=C, C-O, =CH dan –CH. Hasil optimum uji daya adsorpsi terjadi pada dosis karbon aktif 0,05 gram, konsentrasi metilen biru 40 ppm dan waktu kontak 30 menit dengan %EA yang tergolong tinggi sebesar 86,25% dan q_e sebesar 17,25 mg/g. Model isotherm dan kinetika reaksi yang paling tepat, yaitu model isotherm Langmuir dan kinetika pseudo orde dua. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah kulit pinang sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi adsorben karbon aktif dengan efisiensi sebesar 86,25% pada kondisi optimum.

KATA PENGANTAR



Segala puji beserta syukur kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berbagai segala macam nikmat terutama nikmat dalam menuntut ilmu sehingga penulis dapat menyusun proposal skripsi ini dengan judul: **“Potensi Limbah Kulit Pinang (*Arecha catechu L.*) sebagai Karbon Aktif untuk Adsorpsi Zat Warna Tekstil”**. Shalawat beserta salam tidak lupa pula penulis hantarkan kepada junjungan alam Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari alam kejahilan ke alam yang penuh dengan nikmat ilmu pengetahuan.

Dalam menyelesaikan proposal penelitian ini, penulis juga telah mendapatkan banyak bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Safrul Muluk, S. Ag., M. Ed., Ph.D sebagai Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry, para wakil Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan beserta seluruh staf-stafnya
2. Bapak Dr. Mujakir, M.Pd., Si selaku ketua Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry dan Ibu Sabarni, S.Pd.I., M.Pd sebagai Sekretaris Prodi Pendidikan Kimia beserta seluruh stafnya.
3. Ibu Adean Mayasri, M.Sc selaku dosen pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dalam memberikan masukan, bimbingan, motivasi dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu.
4. Bapak Muhammad Reza, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dalam memberikan masukan, bimbingan, motivasi dan arahan kepada penulis sehingga skripsi dapat diselesaikan tepat waktu.

5. Ibu Chusnur Rahmi, M.Pd selaku dosen penasehat akademik yang telah memberikan nasehat serta bimbingan selama menjalani perkuliahan.
6. Bapak Haris Munandar, M.Pd selaku laboran Laboratorium Kimia FTK yang telah memberikan arahan dan masukan selama penelitian berlangsung.
7. Ucapan terima kasih yang sangat mendalam kepada Ayahanda Bukhari dan Ibunda Martina yang telah menyemangati penulis agar menjadi sosok yang tegar, tangguh dan berakhlakul karimah selama berkuliah di UIN Ar-Raniry.
8. Kepada tiga sekawan, yaitu Muhammad Asyiqin dan M. Rizki Asyifa selaku tim adsorpsi yang telah menjadi tempat untuk bertukar pikiran selama penelitian ini berlangsung.
9. Kepada teman-teman angkatan 2019 yang telah mendukung dan memberikan saran selama proses pembuatan proposal ini.
10. Kepada seluruh pihak yang tidak disebutkan disini yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

Penulis yang juga selaku manusia yang tidak luput dari kesalahan menyadari bahwa di dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritikan dan saran yang bersifat membangun sebagai pedoman untuk perbaikan dimasa yang akan mendatang.

Banda Aceh, 05 Agustus 2023

Penulis,

Muhammad Rafdi

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	
LEMBAR PENGESAHAN SIDANG	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR PERSAMAAN.....	xii
BAB I: PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Ruang Lingkup Penelitian.....	6
BAB II: KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Karbon.....	7
B. Sumber Karbon	8
C. Karbon Aktif	12
1. Manfaat.....	15
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi karbon aktif.....	15
D. Proses Pembuatan Karbon Aktif	18
1. Preparasi sampel.....	18
2. Karbonisasi.....	18
3. Aktivasi	19
E. Analisis Fisikokimia	21
1. Rendemen.....	21
2. Penentuan kadar air	21
3. Penentuan kadar abu	22
G. Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) karbon aktif ...	22
H. Prinsip Spektrofotometer <i>Ultra Violet-Visible</i> (UV-Vis)	26
I. Penentuan Daya Serap.....	27
1. Perhitungan q_e dan %EA.....	28
2. Penentuan model isotherm adsorpsi.....	29
3. Penentuan model kinetika reaksi.....	33
J. Metilen Biru	35
BAB III: METODOLOGI PENELITIAN	38
A. Garis Besar Penelitian	38

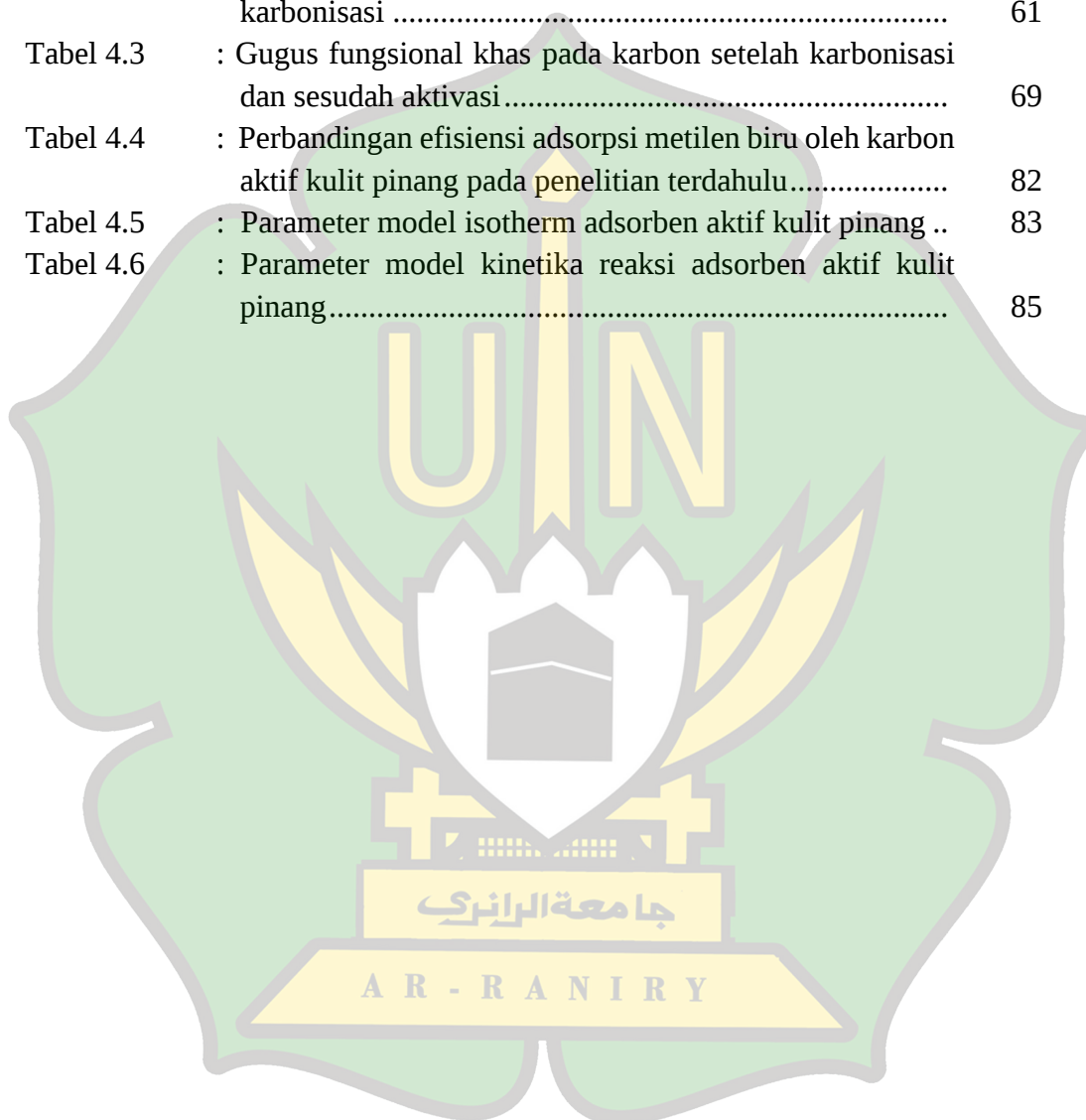
B. Alat dan Bahan.....	38
1. Alat.....	38
2. Bahan.....	38
C. Waktu dan Tempat	38
D. Prosedur Kerja.....	39
1. Preparasi sampel.....	42
2. Karbonisasi.....	42
3. Analisis fisikokimia karbon aktif	43
4. Aktivasi karbon	44
5. Karakterisasi <i>fourier transform infra red</i> (FTIR)	46
6. Penentuan daya serap larutan metilen biru.....	47
BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN	58
A. Preparasi Sampel.....	58
B. Karbonisasi Kulit Pinang (<i>Arecha catechu L.</i>)	59
C. Penentuan Temperatur dan Waktu Optimum Karbonisasi.....	60
1. Rendemen.....	62
2. Kadar air	63
3. Kadar abu	65
D. Aktivasi Karbon Kulit Pinang (<i>Arecha catechu L.</i>).....	66
E. Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	68
F. Daya Serap Karbon Aktif Kulit Pinang (<i>Arecha catechu L.</i>).....	72
1. Kurva kalibrasi larutan standar metilen biru	72
2. Dosis optimum dan persen efisiensi adsorpsi	73
3. Konsentrasi optimum dan persen efisiensi adsorpsi	75
4. Waktu kontak optimum dan persen efisiensi adsorpsi	78
5. Kajian penelitian relevan.....	81
6. Model isotherm adsorpsi	82
7. Model kinetika reaksi.....	85
BAB V: PENUTUP	86
A. Kesimpulan	86
B. Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN-LAMPIRAN	96
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Buah pinang muda dan buah pinang tua	10
Gambar 2.2	: Kulit Pinang (<i>Arecha catechu L.</i>)	11
Gambar 2.3	: Struktur 2D dan 3D mikrokristalin karbon	12
Gambar 2.4	: Morfologi karbon dan morfologi karbon aktif	13
Gambar 2.5	: Penampang pori karbon aktif	15
Gambar 2.6	: Struktur kimia permukaan karbon aktif	20
Gambar 2.7	: Skema alat spektrofotometer FTIR	23
Gambar 2.8	: Skema alat spektrofotometer UV-Vis	27
Gambar 2.9	: Struktur molekul metilen biru	36
Gambar 3.1	: Bagan alir pembuatan karbon aktif limbah kulit pinang..	41
Gambar 4.1	: Proses pencucian dan dikering anginkan kulit pinang	58
Gambar 4.2	: Kulit pinang ukuran $\pm 1 \times 1$ cm	59
Gambar 4.3	: Kurva hubungan kadar rendemen terhadap temperatur dan waktu karbonisasi	62
Gambar 4.4	: Kurva pengaruh kadar air terhadap temperatur dan waktu karbonisasi	64
Gambar 4.5	: Kurva pengaruh kadar abu terhadap temperatur dan waktu karbonisasi	65
Gambar 4.6	: Karbon aktif kulit pinang	68
Gambar 4.7	: Spektra FTIR karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi	69
Gambar 4.8	: Kurva kalibrasi standar larutan metilen biru	73
Gambar 4.9	: Kurva pengaruh dosis karbon aktif	73
Gambar 4.10	: Perbandingan warna Larutan metilen biru 10 ppm dan filtrat hasil adsorpsi pada dosis optimum 0,05 gram	75
Gambar 4.11	: Kurva pengaruh konsentrasi metilen biru	76
Gambar 4.12	: Perbandingan warna Larutan metilen biru 40 ppm dan filtrat hasil adsorpsi pada konsentrasi optimum 40 ppm..	78
Gambar 4.13	: Kurva pengaruh konsentrasi metilen biru	79
Gambar 4.14	: Perbandingan warna Larutan metilen biru 40 ppm dan filtrat hasil adsorpsi pada waktu kontak optimum 30 menit	81
Gambar 4.15	: Model isotherm adsorpsi Langmuir, Freundlich dan Temkin	82
Gambar 4.16	: Model kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua ...	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Klasifikasi tanaman pinang (<i>Areca catechu</i> L.)	10
Tabel 2.2	: Luas permukaan dari beberapa adsorben	13
Tabel 2.3	: Puncak serapan FTIR dari gugus fungsional	24
Tabel 4.1	: Rekapitulasi analisis fisikokimia optimasi temperatur karbonisasi	61
Tabel 4.2	: Rekapitulasi analisis fisikokimia pada optimasi waktu karbonisasi	61
Tabel 4.3	: Gugus fungsional khas pada karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi	69
Tabel 4.4	: Perbandingan efisiensi adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif kulit pinang pada penelitian terdahulu	82
Tabel 4.5	: Parameter model isotherm adsorben aktif kulit pinang ..	83
Tabel 4.6	: Parameter model kinetika reaksi adsorben aktif kulit pinang	85



DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	: Hukum Lambert-Beer	27
Persamaan 2.2	: Regresi linear	28
Persamaan 2.3	: Penentuan kapasitas adsorpsi (q_e)	28
Persamaan 2.4	: Penentuan nilai persentase efisiensi adsorpsi (%EA) ..	29
Persamaan 2.5	: Persamaan linear model isotherm Langmuir	30
Persamaan 2.6	: Faktor pemisahan (R_L)	31
Persamaan 2.7	: Persamaan linear model isotherm Freundlich	32
Persamaan 2.8	: Persamaan linear model isotherm Temkin	33
Persamaan 2.9	: Persamaan linear kinetika pseudo orde satu	34
Persamaan 2.10	: Persamaan linear kinetika pseudo orde dua	35
Persamaan 3.1	: Rendemen karbon	43
Persamaan 3.2	: Kadar air	44
Persamaan 3.3	: Kadar abu	44
Persamaan 3.4	: Regresi linear	48
Persamaan 3.5	: Penentuan kapasitas adsorpsi (q_e)	49
Persamaan 3.6	: Penentuan nilai persentase efisiensi adsorpsi (%EA) ..	49
Persamaan 3.7	: Persamaan linear model isotherm Langmuir	52
Persamaan 3.8	: Faktor pemisahan (R_L)	53
Persamaan 3.9	: Persamaan linear model isotherm Freundlich	53
Persamaan 3.10	: Persamaan linear model isotherm Temkin	54
Persamaan 3.11	: Persamaan linear kinetika pseudo orde satu	56
Persamaan 3.12	: Persamaan linear kinetika pseudo orde dua	56



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Tumbuhan Pinang (*Areca catechu L.*) merupakan salah satu komponen biotik yang menjadi komoditas unggulan di dalam sektor pertanian terutama di wilayah Aceh. Laporan Provinsi Aceh pada tahun 2022 tercatat bahwa produksi pinang Provinsi Aceh pada tahun 2020 sebesar 17.472 ton dan 2021 sebesar 17.677 ton. Kabupaten Aceh Besar ikut andil dalam menyumbang hasil produksi pinang pada tahun 2020 sebanyak 645 ton dan 2021 sebesar 652 ton (Badan Pusat Statistik Provinsi Aceh, 2021). Nilai produksi pinang yang tinggi ini tentunya akan menyebabkan meningkatnya produksi sekunder, yaitu berupa padatan limbah kulit pinang.

Masyarakat Aceh Besar umumnya hanya mengambil bagian bijinya, sedangkan bagian kulit pinang dianggap sebagai limbah yang tidak bernilai harganya sehingga kulit pinang tersebut hanya dibuang dan dibakar begitu saja (Yulia dkk., 2020). Padahal, keberadaan limbah kulit pinang sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi beberapa bahan baku pada pembuatan *biochar* (Solfianti dkk., 2021), briket (Shobar dkk., 2020) dan karbon aktif (Bardhan dkk., 2020) sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomis yang lebih terhadap limbah kulit pinang terutama bagi masyarakat Aceh Besar.

Limbah kulit pinang ini berupa sabut dan cangkang hasil pengupasan buah pinang yang diambil bijinya. Penggunaan bagian kulit pinang sebagai material produksi dari karbon aktif berdasarkan pertimbangan dari penelitian yang dilakukan

oleh Batu dkk., (2022) bahwa terdapat kandungan selulosa dari serat kulit pinang kering sebesar 63,20%, hemiselulosa 32,98%, lignin 7,20% dan lemak 0,64%. Semakin tinggi kandungan lignin pada suatu material, maka semakin tinggi temperatur yang diperlukan untuk mengurai lignin tersebut karena memiliki struktur yang cukup kompleks. Oleh sebab itu, pemilihan bagian kulit pinang menjadi pertimbangan agar dapat menghemat biaya operasional karena kandungan lignin yang terdapat pada kulit pinang tergolong rendah (Yulia dkk., 2020). Kandungan senyawa kimiawi yang terdapat pada kulit pinang ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon pada proses pembuatan karbon aktif melalui metode karbonisasi (Utami & Novallyan, 2019).

Melalui metode karbonisasi, senyawa selulosa dapat didekomposisi menjadi struktur yang lebih sederhana pada suhu 280-320°C, sedangkan senyawa hemiselulosa akan mengalami dekomposisi pada suhu 200-250°C. Selain itu, senyawa kompleks seperti lignin juga bisa di dekomposisi menjadi menjadi struktur lebih sederhana hingga menghasilkan karbon melalui konversi dan pemutusan rantai alkil pada suhu 150-420°C dan beberapa substituen dari cincin aromatik dapat terdekomposisi pada suhu 380-800°C (Zhu dkk., 2019). Kandungan senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin yang tinggi dari limbah kulit pinang tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi cemaran limbah tekstil dari zat warna metilen biru (Fitriansyah dkk., 2021).

Pemanfaatan adsorben sering dilakukan untuk mengatasi cemaran limbah cair, salah satunya yang disebabkan oleh cemaran zat warna tekstil. Cemaran dari zat warna tekstil umumnya memiliki beberapa karakteristik, yaitu sulit untuk

didegradasi di dalam air, memiliki intensitas warna yang sangat pekat, perubahan nilai pH air yang tinggi dan besarnya tingkat *chemical oxygen on demand* (COD) (Wang dkk., 2022). Beberapa limbah zat cair yang biasanya dijumpai pada cemaran limbah tekstil, yaitu tartrazin, rodamin B, *sunset yellow*, *allura red* dan metilen ungu (Baunsele & Missa, 2020). Namun, salah satu zat warna tekstil yang paling banyak dijumpai di berbagai sektor industri, yaitu metilen biru (Riwayati dkk., 2019).

Metilen biru ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) merupakan salah satu pewarna sintetis yang bersifat kationik yang terdiri atas senyawa organik tidak jenuh dan memiliki struktur berupa kation aromatik heterosiklik yang mudah larut di dalam air (Alvarenga dkk., 2020). Metilen biru cenderung memiliki sifat beracun dan sulit terdegradasi di dalam tubuh manusia dan dapat menyebabkan mutagenetik bila dikonsumsi dengan kadar yang tinggi (Nidheesh dkk., 2018). Senyawa metilen biru juga memberikan beberapa efek samping lainnya, yaitu iritasi dan radang pada saluran pencernaan, berkurangnya jumlah asupan oksigen dalam darah sehingga menyebabkan sianosis, gangguan pada sistem reproduksi dan gejala iritasi pada kulit (Ernawati dkk., 2021).

Perlu adanya perlu adanya penanganan secara khusus terhadap pencemaran air yang disebabkan oleh limbah zat cair terutama oleh pewarna sintetis metilen biru. Salah satu alternatif solusi yang berpotensi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, yaitu dengan memanfaatkan karbon aktif yang berpotensi untuk menyerap zat warna yang terdapat di dalam air yang sudah tercemar. Salah satu metode yang paling efektif dan efisien untuk menangani permasalahan

cemaran dari limbah zat warna metilen biru pada air, yaitu metode adsorpsi (Bardhan dkk., 2020). Kelebihan penggunaan metode adsorpsi, yaitu menggunakan biaya yang murah, mudah digunakan, efisien, ramah terhadap lingkungan dan tersedia dalam berbagai macam adsorben seperti alumina, silika gel, zeolit dan karbon aktif (Riwayati dkk., 2019).

Karbon aktif merupakan salah satu contoh yang adsorben yang sangat baik dalam mengadsorpsi cemaran limbah zat warna tekstil metilen biru. Karbon aktif umumnya memiliki luas permukaan yang tinggi, yaitu sebesar $19,8 \text{ m}^2/\text{g}$ sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi zat warna metilen biru (Astuti, 2018). Karbon aktif umumnya bersumber dari biomassa yang mengandung senyawa organik seperti senyawa selulosa. Senyawa selulosa dapat diperoleh dari batang pohon, bunga, rumput-rumputan, dedaunan, kulit dan cangkang biji-bijian (Riwayati dkk., 2019).

Hasil kajian penelitian terdahulu diperoleh bahwa terdapat beberapa limbah biomassa yang berasal bahan organik padat yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi adsorben karbon aktif karena memiliki serat selulosa yang cukup tinggi, yaitu kulit buah durian (Pane & Hamzah, 2018), kulit pisang awak (Asmar dkk., 2021), kayu bakau (Cintia dkk., 2022), ampas tebu (Nurbaeti dkk., 2018) dan kulit buah pinang (Bardhan dkk., 2020).

Berdasarkan kajian permasalahan tersebut, salah satu solusi yang efisien dan efektif, yaitu menjadikan limbah kulit pinang sebagai biosorben untuk mengadsorpsi zat warna tekstil metilen biru yang tercemar di dalam air. Penelitian yang dilakukan oleh (Cundari dkk., 2018) menggunakan limbah kulit pinang,

menunjukkan bahwa pada temperatur 500 °C akan menghasilkan komponen karbon sebesar 86,27%. Keefektifan daya adsorpsi karbon akan meningkat apabila dilakukan aktivasi secara kimiawi. Hal ini dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh (Verayana dkk., 2018) bahwa zat karbon hanya mampu menyerap sebesar 59,375% logam timbal, namun setelah diaktivasi menggunakan larutan H_3PO_4 mampu meningkatkan daya serap menjadi 92,812%.

Kapasitas daya serap karbon aktif yang berasal dari kulit pinang terhadap zat warna metilen biru dapat dilihat dari hasil yang dilakukan oleh (Joshi dkk., 2021) bahwa kapasitas adsorpsi optimum (q_e) zat warna metilen biru, yaitu sebesar 333,3 mg/g dengan waktu kontak selama 180 menit. Selain itu, karbon aktif yang berasal dari limbah kulit pinang juga mampu menyerap zat warna *brilliant green* dengan nilai kapasitas adsorpsi optimum, yaitu 18,21 mg/g dengan waktu kontak selama 120 menit (Baidya & Kumar, 2021) dan juga mampu menyerap zat warna *indigosol blue 04-B* dengan kapasitas adsorpsi optimum, yaitu 19,8 mg/g dengan waktu kontak selama 40 menit (Fitriansyah dkk., 2021). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti tertarik untuk meneliti potensi limbah kulit pinang (*Areca catechu L.*) sebagai karbon aktif untuk Adsorpsi zat warna tekstil.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini, yaitu:

1. Mensintesis karbon aktif dari limbah kulit pinang (*Areca catechu L.*) sebagai adsorben zat warna tekstil metilen biru.
2. Menghitung daya adsorpsi dari karbon aktif limbah kulit pinang (*Areca catechu L.*) untuk penyerapan zat warna tekstil metilen biru.

C. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan baku karbon aktif yang bersumber dari limbah kulit pinang (*Areca catechu L.*). Tahapan pembuatan karbon aktif meliputi tahap preparasi sampel, karbonisasi dan aktivasi. Tahap selanjutnya, yaitu Uji karakterisasi gugus fungsional karbon aktif menggunakan spektrofotometer *fourier transform infrared* (FTIR) dan analisis fisikokimia setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi yang meliputi perhitungan rendemen, perhitungan kadar air dan perhitungan kadar abu. Uji terakhir, yaitu uji daya serap metilen biru menggunakan spektrofotometer *ultra violet-visible* (UV-Vis) yang meliputi pembuatan kurva standar larutan metilen biru, perhitungan kapasitas adsorpsi (q_e) dan persentase efisiensi adsorpsi (%EA), penentuan model isotherm adsorpsi dan penentuan kinetika reaksi. Manfaat penelitian ini, yaitu memberikan informasi yang lebih lanjut terhadap pemanfaatan limbah kulit pinang sebagai alternatif pembuatan karbon aktif sehingga dapat mengurangi jumlah limbah kulit pinang dan meningkatkan nilai ekonomis dari limbah kulit pinang.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Karbon

Karbon berasal dari bahasa latin "*carbo*" yang berarti zat arang yang memiliki ciri khas warna kehitaman. Karbon merupakan suatu unsur kimia non logam dengan kelimpahan ke-15 di kerak bumi dan ke-4 di alam semesta yang banyak dijumpai pada semua jenis makhluk hidup seperti hewan, manusia dan tumbuhan dengan kadar sekitar 18,5% (Siregar dkk., 2018). Karbon memiliki simbol unsur C dengan nomor atom 6 pada sistem periodik unsur dan memiliki tiga jenis isotop. Isotop karbon yang stabil, yaitu karbon C-12 dan C-13. Sedangkan, isotop karbon yang bersifat radioaktif disebut dengan karbon C-14 (Graven dkk., 2020).

Keberadaan karbon sudah ditemukan oleh manusia sejak berabad-abad yang lalu untuk menunjang kebutuhan sehari-hari seperti permukiman air menggunakan zat arang yang diperoleh dari melalui pembakaran pada bagian tumbuh-tumbuhan menjadi arang. Karbon memiliki keunikan tersendiri, yaitu memiliki struktur elektronik pada area permukaan dan memungkinkan untuk terhibridisasi menjadi sp^3 , sp^2 dan sp (Siregar dkk., 2018). Konsep keunikan dan pemanfaatan unsur karbon sudah pernah dijelaskan melalui tanda-tanda yang telah Allah SWT berikan di dalam ayat-ayat suci Al-Qur'an, sebagaimana Allah SWT berfirman pada Surah Al-A'la Ayat 4-5 (Shihab, 2002).

وَالَّذِي أَخْرَجَ الْمَرْعَىٰ ۖ فَجَعَلَهُ غُثَاءً أَحْوَىٰ ۝

Artinya: *Dan yang mengeluarkan rumput-rumputan, lalu dia menjadikannya kering kehitam-hitaman.* (QS. Al-A'la: 4-5).

Menurut penafsiran dari Shihab (2002) menyatakan bahwa rerumputan maupun tumbuhan yang awalnya hidup subur, kemudian akan memasuki siklus mati hingga menjadi kering kehitam-hitaman akibat terbakar dan terkena oleh sinar matahari dengan ketetapan Allah SWT. Penafsiran ini diperkuat oleh kajian Hadi dkk., (2021) bahwa rerumputan maupun tumbuhan merupakan biomassa yang berasal dari bahan organik berlignoselulosa yang tersusun dari unsur karbon saling berikatan. Proses pembakaran akan membuat proses dekomposisi senyawa senyawa lignoselulosa menjadi struktur lebih sederhana yang ditandai dengan perubahan warna menjadi kehitaman yang disebut sebagai zat arang (Hasibuan & Pardede, 2023). Zat arang atau karbon yang terkandung dihasilkan ini bisa dimanfaatkan untuk membuat karbon aktif sebagai bahan untuk pemurnian air.

B. Sumber karbon

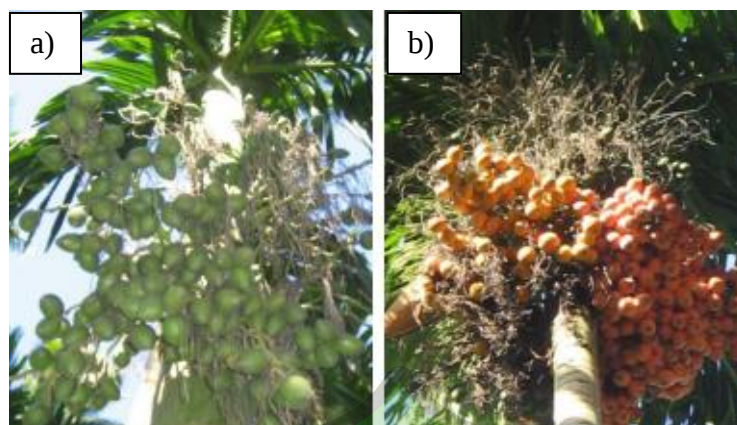
Di alam kelimpahan sumber karbon sangat mudah dijumpai. Sumber karbon yang paling praktis didapatkan, yaitu pada aktivitas pertambangan intan, gas alam, grafit dan batubara. Namun, penggunaan bahan tersebut terlalu banyak memakan biaya operasional dan sifatnya yang tidak dapat diperbarui (Darminto dkk., 2018). Namun, saat ini telah berhasil dikembangkan adsorben yang memiliki biaya operasional murah salah satunya, yaitu menggunakan metode sintesis karbon yang berasal dari bahan biomassa berlignoselulosa (Kristianto, 2017).

Biomassa berlignoselulosa merupakan suatu material organik yang mengandung senyawa selulosa berasal dari limbah pertanian dan perkebunan yang

berpotensi untuk dimanfaatkan kembali menjadi adsorben. Terdapat tiga kriteria biomassa yang dapat dijadikan sebagai karbon aktif, yaitu biomassa harus mengandung karbon atau serat selulosa, tidak mengandung terlalu banyak pengotor dan bahan dasar harus mempunyai kualitas yang baik untuk dijadikan adsorben. Penggunaan biomassa berlignoselulosa sebagai adsorben memiliki banyak keuntungan diantaranya, yaitu ramah terhadap lingkungan, biaya operasionalnya yang murah, efektif dan efisien untuk dijadikan sebagai adsorben. Biomassa berlignoselulosa yang paling banyak dijumpai pada aktivitas pertenaian, yaitu ampas tebu, daun kering, sabut dan tempurung kelapa, sekam, jerami, kayu dan kulit pinang (Frida dkk., 2019).

Tanaman pinang atau (*Areca catechu L.*) berasal dari kata Melayu *adeka* atau *adaka*. Kata *catechu* berasal dari bahasa Portugis *cacho* dan kemudian ditranskripsikan ke dalam bahasa Jepang sebagai *catechu* sehingga dikenal dengan istilah *areca catechu* yang berarti obat-obatan. Tanaman pinang merupakan tanaman palma monokotil yang hidup subur di daerah beriklim tropis terutama di daerah kawasan Asia Tenggara, Asia Selatan dan beberapa kawasan di daerah Laut Pasifik (Miftahorachman dkk., 2015).

Tumbuhan pinang memiliki batang yang lurus dan tergolong ke dalam jenis palem-paleman. Bagian tumbuhan pinang yang sering diolah oleh masyarakat Indonesia, yaitu bagian buahnya. Buah pinang akan berwarna hijau pada saat masih muda dan berwarna orange pada saat sudah tua. Buah pinang yang sudah tua ini, umumnya hanya diambil bagian bijinya oleh masyarakat. Bentuknya yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: a) Buah pinang muda dan b) Buah pinang tua (Sumber: Miftahorachman dkk., 2015)

Tanaman pinang memiliki luas penyebaran di Indonesia sebesar $\pm 147,690$ ha (Miftahorachman dkk., 2015). Laporan Provinsi Aceh tahun 2022 menunjukkan bahwa nilai produksi pinang Provinsi Aceh pada tahun 2020 tercatat sebesar 17.472 ton. Kabupaten Aceh Besar juga ikut andil dalam menyumbang hasil produksi pinang pada tahun 2020 sebanyak 645 ton (Badan Pusat Statistik Provinsi Aceh, 2021). Data yang diperoleh ini menunjukkan bahwa pinang merupakan salah satu komoditas unggulan yang banyak dibudidayakan dan produksi masyarakat Indonesia. Adapun klasifikasi tanaman pinang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi tanaman pinang (*Areca catechu* L.)

Klasifikasi tanaman pinang (<i>Areca catechu</i> L.)	
Devisi	<i>Spermatophyta</i>
Sub Devisi	<i>Angiospermae</i>
Kelas	<i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	<i>Principes/Palmales/Arecales</i>
Family	<i>Palmae/Arecaceae</i>
Genus	<i>Areca</i>
Species	<i>Areca catechu</i> L.

(Sumber: Febrianti dkk., 2021)

Tumbuhan pinang memiliki banyak sekali manfaatnya dimulai dari bagian akarnya hingga pada bagian kulitnya. Pemanfaatan tumbuhan pinang umumnya

dilakukan pada bagian bijinya. untuk digunakan sebagai bahan obat-obatan, media adat istiadat hingga pewarna tekstil dalam skala komersial. Produksi pinang dalam skala komersial ini menyebabkan adanya produksi sekunder yang berupa limbah kulit pinang.

Limbah kulit pinang mengandung senyawa α -selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif untuk menghilangkan zat warna dan kandungan logam berat penyebab terjadinya pencemaran air. Kandungan α -selulosa yang paling tinggi pernah ditemukan di dalam limbah kulit pinang sebesar 92,8% dan paling rendah sebesar 65% (Ranganagowda dkk., 2019). Penelitian yang dilakukan oleh (Batu dkk., 2022) menunjukkan bahwa kandungan selulosa dari serat kulit pinang kering, yaitu sebesar 63,20%, kandungan hemiselulosa 32,98%, lignin 7,20% dan lemak 0,64%. Kelimpahan kandungan selulosa yang tinggi inilah menyebabkan kulit pinang berpotensi untuk dikembangkan melalui metode sintesis secara pirolisis menjadi adsorben berupa karbon aktif untuk mengatasi permasalahan terhadap pencemaran air dengan menggunakan metode adsorpsi. Serta kulit pinang kering dapat dilihat pada Gambar 2.2.

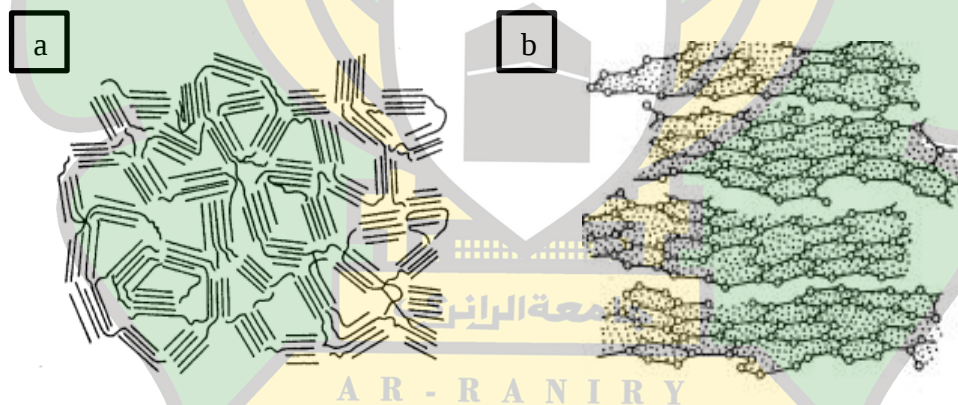


Gambar 2.2 Kulit Pinang (*Areca catechu L.*) (Sumber: Dokumentasi penelitian)

C. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben berupa padatan berpori dengan komponen penyusunnya 85-95% karbon yang dihasilkan melalui pemanasan tanpa atau sedikit oksigen pada suhu tinggi dan diaktivasi dengan bantuan senyawa kimia (Ranganagowda dkk., 2019). Karbon aktif juga dikenal dengan sebutan *amorf* berkarbon karena memiliki bentuk kristal dengan area luas permukaan yang cukup tinggi sebesar $19,8 \text{ m}^2/\text{g}$ sehingga sangat berpotensi dijadikan sebagai adsorben untuk menjerap adsorbat (Astuti, 2018).

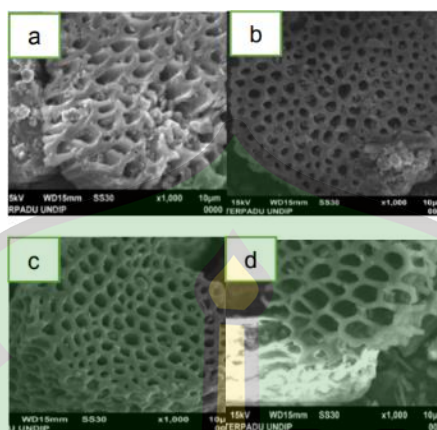
Skema mikrokristalin 2 dimensi dan 3 dimensi dari struktur dari karbon dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3 dimana, setiap baris pada gambar tersebut menunjukkan adanya lapisan karbon heksagonal yang tersusun mirip dengan struktur dari kristal grafit dengan jarak lapisan interlayer berkisar antara 0,34 hingga 0,36 nm.



Gambar 2.3: a) Struktur 2 dimensi mikrokristalin karbon dan b) Struktur 3 dimensi mikrokristalin karbon (Sumber: Sudibandriyo, 2003)

Kemampuan proses adsorpsi karbon aktif lebih baik dibandingkan dengan karbon yang belum mengalami proses aktivasi karena karbon aktif memiliki luas permukaan yang tinggi, jumlah pori-pori karbon yang banyak dan terbebas dari

zat pengotor. Perbandingan permukaan karbon sebelum dan sesudah diaktivasi dapat dilihat menggunakan bantuan instrumen *scanning electron microscope* (SEM) seperti pada Gambar 2. 4.



Gambar 2.4: a) Morfologi karbon. b) Karbon aktif teraktivasi H_2SO_4 0,5 M. c) Karbon aktif teraktivasi H_2SO_4 1 M. d) Karbon aktif teraktivasi H_2SO_4 1,5 M (Sumber: Mopoung & Dejang, 2021)

Adsorben yang dikategorikan baik harus b) memiliki tiga syarat, yaitu memiliki situs aktif pada area permukaan, memiliki rongga dan mempunyai pori-pori (Anggriani dkk., 2021). Beberapa data spesifik terhadap luas permukaan dari beberapa material berpori yang berpotensi sebagai adsorben tersaji pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Luas permukaan dari beberapa adsorben

Jenis Adsorben	Luas Permukaan (m^2/g)
Alumina	21,7
Silika gel	40,0
Zeolit	64,0
Karbon aktif	19,8

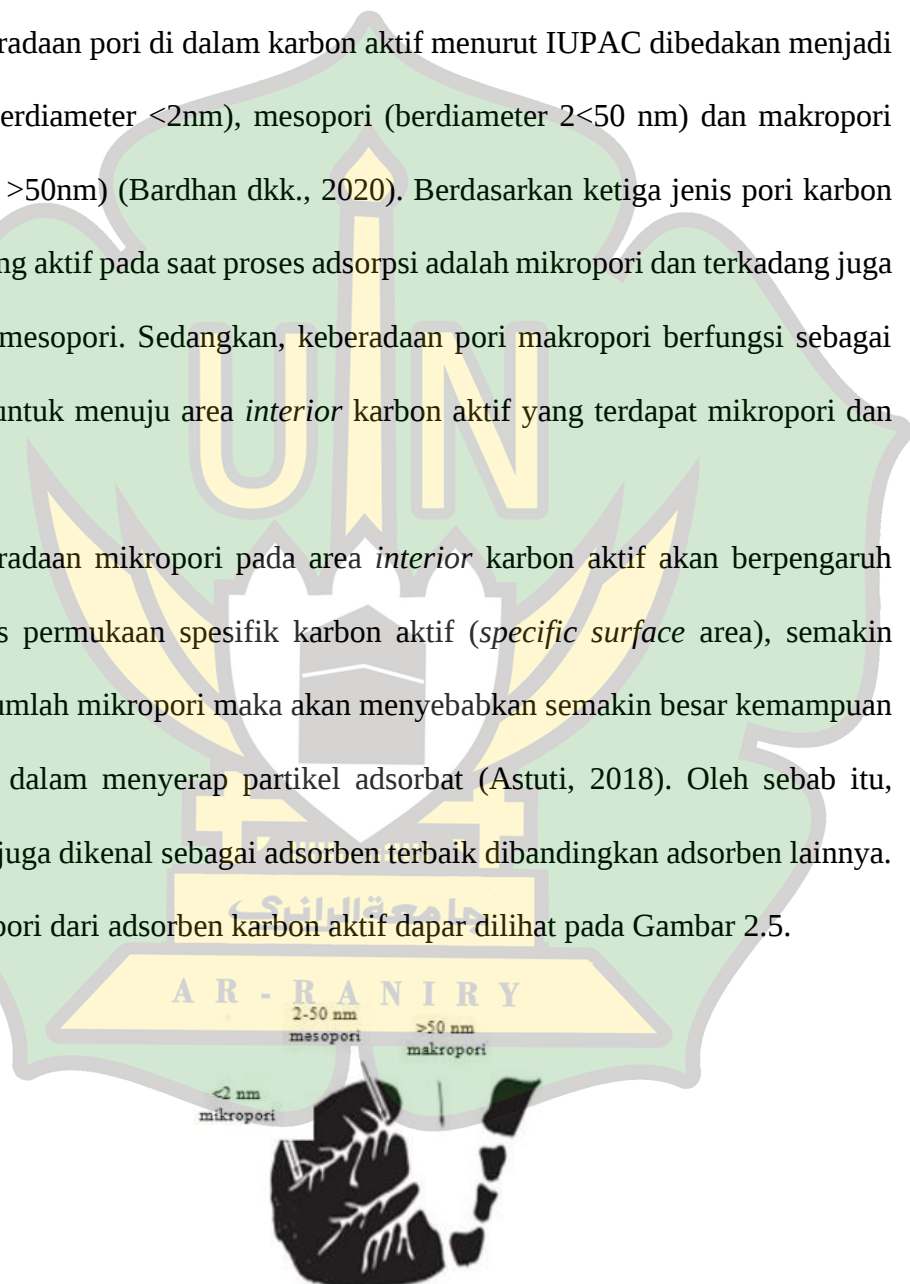
(Sumber: Astuti, 2018)

Struktur pembentuk karbon aktif yang sudah teraktivasi umumnya dibedakan menjadi area *interior* karbon dan area permukaan karbon yang memiliki perbedaan keseimbangan terhadap gaya tarik menarik atom penyusun pori-porinya

yang reaktif. Ketidakseimbangan terjadi pada area permukaan karbon sehingga pada area ini akan menarik partikel-partikel berupa logam berat maupun limbah zat warna untuk menstabilkan kembali area tersebut. Partikel yang tertarik pada area pori permukaan karbon tersebut kemudian akan terperangkap pada area *interior* karbon.

Keberadaan pori di dalam karbon aktif menurut IUPAC dibedakan menjadi mikropori (berdiameter $<2\text{nm}$), mesopori (berdiameter $2 < 50\text{ nm}$) dan makropori (berdiameter $>50\text{nm}$) (Bardhan dkk., 2020). Berdasarkan ketiga jenis pori karbon aktif, pori yang aktif pada saat proses adsorpsi adalah mikropori dan terkadang juga terjadi pada mesopori. Sedangkan, keberadaan pori makropori berfungsi sebagai jalur utama untuk menuju area *interior* karbon aktif yang terdapat mikropori dan mesopori.

Keberadaan mikropori pada area *interior* karbon aktif akan berpengaruh terhadap luas permukaan spesifik karbon aktif (*specific surface area*), semakin banyaknya jumlah mikropori maka akan menyebabkan semakin besar kemampuan karbon aktif dalam menyerap partikel adsorbat (Astuti, 2018). Oleh sebab itu, karbon aktif juga dikenal sebagai adsorben terbaik dibandingkan adsorben lainnya. Penampang pori dari adsorben karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penampang pori karbon aktif (Sumber: Handika dkk., 2017)

1. Manfaat karbon aktif

Karbon aktif paling banyak dan populer dimanfaatkan di bidang industri pengolahan air untuk menghilangkan logam berat dan zat warna sintesis yang tercemar di dalam air. Karbon aktif mampu mengikat partikel-partikel berbahaya seperti zat warna dan ion logam berat yang terkandung di dalam air sehingga menghasilkan air bersih yang tidak berbahaya untuk digunakan di dalam kehidupan sehari-hari (Fatimah dkk., 2017). Sifat adsorpsivitas karbon aktif ini pertama kali ditemukan oleh Scheele pada tahun 1773 untuk menguji keefektifan penyerapan gas menggunakan karbon aktif, kemudian pada tahun 1786 dilakukan pengujian terhadap air yang tercemar pada air. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang sangat kuat untuk menghilangkan zat warna yang tercemar pada air (Lubis dkk., 2020).

2. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi karbon aktif

Kemampuan adsorpsi karbon aktif dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu luas permukaan adsorben, temperatur, jenis adsorben dan konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi (Wijayanti dkk., 2018). Namun, terdapat beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi daya adsorpsi dari karbon aktif, yaitu aktivasi karbon, pH (*power of hydrogen*) dan waktu kontak.

a. Luas permukaan adsorben

Luas permukaan adsorben sangat mempengaruhi kemampuan adsorpsi adsorben terhadap suatu senyawa. Luas permukaan adsorben akan membentuk jumlah pori-pori adsorben dalam jumlah banyak sehingga proses penyerapan adsorbat menjadi meningkat sehingga dapat dinyatakan bahwa hubungan luas

permukaan adsorben berbanding lurus terhadap kapasitas adsorpsi. Semakin besar luas permukaan suatu adsorben, maka semakin besar pula kapasitas adsorpsinya (Wati dkk., 2021).

b. Temperatur

Peningkatan temperatur akan menyebabkan kemampuan adsorbat menjadi meningkat juga. Temperatur mampu meningkatkan energi adsorbat untuk meningkatkan interaksi adsorbat dengan situs aktif pada permukaan pori-pori karbon karbon sehingga mobilitas molekul adsorbat menjadi meningkat karena efek tumbukan antar molekul adsorbat dengan situs aktif permukaan karbon (Touzani dkk., 2022).

c. Jenis adsorben

Jenis adsorben yang digunakan juga akan sangat menentukan jumlah kapasitas optimum yang dihasilkan oleh suatu adsorben. Setiap adsorben memiliki luas permukaan yang berbeda-beda, misalnya alumina memiliki luas permukaan $21,7 \text{ m}^2/\text{g}$, silika gel $40 \text{ m}^2/\text{g}$, zeolit $40 \text{ m}^2/\text{g}$ dan karbon aktif $19,8 \text{ m}^2/\text{g}$ (Astuti, 2018). Apabila suatu adsorben memiliki luas permukaan yang semakin luas, maka kapasitas adsorpsinya akan semakin meningkat pula. Namun, diantara jenis adsorben yang telah disebutkan, karbon aktif merupakan adsorben yang paling mudah untuk disintesis dan memiliki biaya operasional yang lebih murah dibandingkan dengan adsorben lainnya.

d. Konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi

Kemampuan adsorbat yang diadsorpsi oleh adsorben mampu meningkat hingga mencapai kesetimbangan adsorben. Semakin besar konsentrasi adsorbat,

maka akan semakin banyak juga jumlah partikel yang terperangkap di permukaan adsorben hingga mencapai kesetimbangan adsorben yang ditandai dengan menurunnya kapasitas adsorpsi dari adsorben terhadap adsorbat yang digunakan dalam konsentrasi tertentu (C. Irawan, 2018).

e. Aktivasi karbon

Aktivasi merupakan proses perlakuan terhadap karbon yang bertujuan untuk melebarkan pori karbon dengan merombak struktur hidrokarbon, mengoksidasi molekul pada area permukaan karbon sehingga karbon akan mengalami perubahan sifat fisika maupun kimia dan meningkatkan situs aktif pada permukaan karbon dan menghilangkan zat pengotor yang terperangkap di dalam pori-pori karbon (Asmar dkk., 2021).

f. pH (derajat keasaman)

Derajat Keasaman (pH) merupakan yang menyatakan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Saat pH tinggi, area permukaan adsorben akan berubah menjadi muatan negatif dan adsorpsi suatu adsorbat yang bersifat kationik akan meningkat karena adanya gaya tarikan elektrostatis antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Saat pH menjadi rendah, area permukaan adsorben akan berubah menjadi muatan positif yang menyebabkan terjadinya tolakan elektrostatis antara permukaan adsorben dengan adsorbat yang bersifat kationik sehingga menyebabkan penurunan adsorpsi adsorbat zat warna (Wati dkk., 2021).

g. Waktu kontak

Waktu kontak merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi. Apabila waktu kontak yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben semakin lama,

maka jumlah adsorbat yang terperangkap pada area permukaan adsorben akan semakin banyak hingga mencapai titik kesetimbangan, dimana adsorben akan menghentikan proses adsorpsinya (Aulia dkk., 2021).

D. Proses Pembuatan Karbon Aktif

1. Preparasi sampel

Tahapan preparasi merupakan tahapan yang bertujuan untuk mempersiapkan bahan baku yang digunakan di dalam proses pembuatan karbon aktif. Bahan baku terlebih dahulu dibersihkan dari sisa-sisa kotoran yang menempel pada bahan baku menggunakan air bersih. Hal ini berfungsi agar kotoran yang menempel tidak mempengaruhi terhadap hasil karakterisasi karbon aktif (Udyani dkk., 2019). Sampel kulit pinang kemudian, dilanjutkan pada proses pengurangan kadar air yang terkandung di dalam kulit pinang.

Tahap dehidrasi berguna untuk menyempurnakan proses karbonisasi (Ramadhani dkk., 2020). Tahap dehidrasi dilakukan dengan cara menjemur bahan baku tanpa terkena langsung oleh paparan sinar matahari. Hal ini bertujuan agar kandungan senyawa yang terdapat di dalam bahan baku tidak menguap ketika terkena sinar matahari. Bahan baku yang sudah kering selanjutnya dipotong-potong yang bertujuan untuk memperluas bidang sentuh sehingga mempercepat proses karbonisasi (Utami & Novallyan, 2019).

2. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses dekomposisi senyawa organik tanpa atau sedikit oksigen menggunakan temperatur tinggi sehingga menghasilkan residu berupa zat karbon. Proses karbonisasi biasanya dilakukan pada suhu yang berkisar

diantara 300-800°C dengan bantuan alat *furnace* (Sitanggang dkk., 2017). Proses karbonisasi juga diiringi dengan menaikkan temperatur *furnace* setiap 10°C/menit yang diikuti dengan proses kalsinasi menggunakan gas N₂ dengan laju alir sebanyak 50 mL/menit secara konstan (Danish dkk., 2021).

3. Aktivasi karbon

Aktivasi karbon dapat dilakukan melalui proses fisika dan kimiawi. Proses aktivasi karbon aktif dapat dilakukan dengan dua cara modifikasi yang berfungsi untuk menghilangkan zat pengotor pada pori karbon, memperluas pori-pori permukaan karbon, meningkatkan sifat elektrokimia karbon dan kandungan kimiawi dari struktur karbon aktif (Prayogatama dkk., 2022).

a. Aktivasi fisika

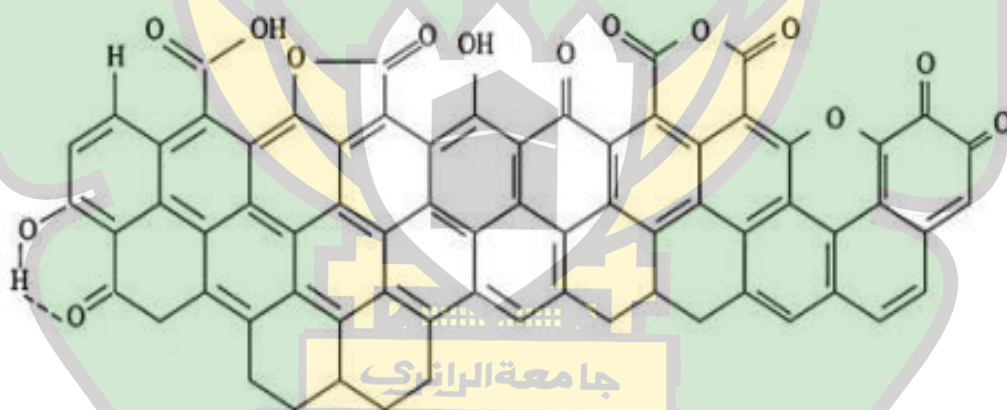
Aktivasi fisika merupakan aktivasi karbon yang dilakukan pada temperatur tinggi yang berkisar antara 500-1000°C dengan bantuan uap, panas, gas CO₂ dan gas N₂ (Prayogatama dkk., 2022) (Astuti, 2018). Gas inert yang dialirkan akan menjaga temperatur pada area struktur karbon sehingga akan mempertahankan struktur karbon agar tidak menjadi abu sehingga kadar abu yang dihasilkan akan menjadi lebih sedikit. Aktivasi fisika yang dilakukan bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor yang bersifat mudah menguap tanpa kehilangan unsur karbonnya sehingga akan memperbesar luas permukaan karbon aktif (Aryani dkk., 2019).

b. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia merupakan proses aktivasi karbon aktif dengan menggunakan bantuan bahan kimia. Sifat bahan kimia sebagai aktivator mampu mempengaruhi kemampuan adsorpsi karbon aktif, seperti penggunaan aktivator

HCl yang menghasilkan jumlah kapasitas adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan aktivator NaOH. Hal ini disebabkan karena adanya proses dealuminasi sehingga menyebabkan struktur bahan akan menjadi kurang negatif (Prayogatama dkk., 2022).

Besarnya luas permukaan karbon aktif juga dipengaruhi oleh aktivator yang digunakan. Aktivator yang digunakan dalam aktivasi kimia, yaitu aktivator yang bersifat asam, basa dan garam (Lubis dkk., 2020). Namun, terdapat beberapa aktivator yang sering digunakan di dalam aktivasi kimia karena harganya yang murah dan mudah dijumpai, seperti aktivator NaOH, KOH, ZnCl_2 , H_3PO_4 dan HCl (Prayogatama dkk., 2022). Struktur karbon aktif hasil modifikasi menggunakan aktivasi kimia dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur kimia permukaan pori-pori karbon aktif (Sumber: Anugrahwati dkk., 2021)

Aktivator akan menghilangkan berupa zat pengotor pada area permukaan karbon, kemudian akan menghasilkan suatu gugus fungsional baru, dimana gugus fungsional baru ini akan meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Selain itu, setelah aktivasi juga akan terjadi penghilangan gugus-gugus fungsional. Hal ini

disebabkan karena aktivasi karbon akan menghilangkan sisa oksida logam yang masih menempel pori-pori karbon (Batu dkk., 2022).

F. Analisis Fisikokimia

Analisa fisikokimia bertujuan untuk memberikan informasi terkait kualitas karbon aktif yang akan dihasilkan. Pengujian kelayakan ini dilakukan dengan beberapa metode, yaitu rendemen, penentuan kadar air dan penentuan kadar abu.

1. Rendemen

Perhitungan rendemen bertujuan mengetahui jumlah persentase karbon aktif yang dihasilkan dari sampel setelah melewati proses karbonisasi dan aktivasi. Rendemen setelah melewati proses karbonisasi dan aktivasi akan cenderung menurun dikarenakan pemanasan yang dilakukan pada suhu yang tergolong tinggi sehingga dapat menghilangkan zat yang bersifat mudah menguap di dalam karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi. Rendemen yang kecil juga dipengaruhi oleh kadar air, proses pengeringan dan proses karbonisasi (Sailah dkk., 2020).

2. Penentuan kadar air

Penentuan kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air yang masih terkandung di dalam karbon aktif yang akan menghambat proses berlangsungnya peristiwa adsorpsi karena pori-pori pada area permukaan karbon aktif akan tertutupi oleh molekul air. Oleh sebab itu, semakin rendahnya kadar air maka keberadaan pori-pori karbon akan semakin banyak untuk ditempati oleh adsorbat pada saat berlangsungnya proses adsorpsi (Wijayanti dkk., 2018). Penentuan kadar air ditetapkan berdasarkan standar SNI 06-3730- 1995 dengan ambang batas sebesar 15% (Huda dkk., 2020)

3. Penentuan kadar abu

Penentuan kadar abu bertujuan untuk memperoleh informasi banyaknya kandungan mineral atau material logam dan mengetahui kadar senyawa anorganik pada pori-pori adsorben. Oksida logam dan senyawa anorganik yang sisa karbonisasi akan tersisa di pori-pori karbon karena tidak mampu teruapkan pada saat karbonisasi berlangsung. Oleh sebab itu, penting dilakukan penentuan kadar abu untuk mengetahui persentase oksida loga dan senyawa anorganik yang masih tersisa di pori-pori adsorben.

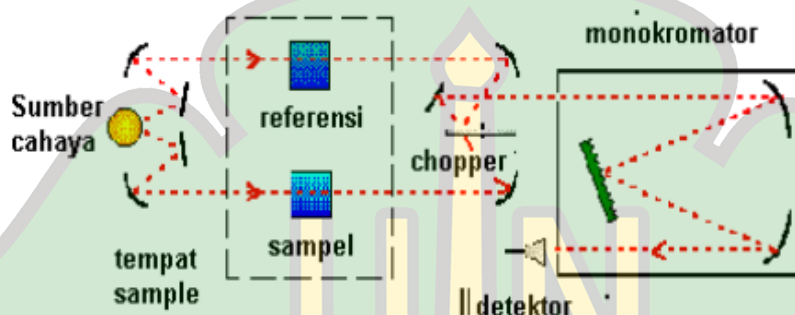
Penentuan kadar abu berdasarkan pada ketentuan batas maksimal SNI No.06-3730-1995, yaitu tidak melebihi 10%. Jika kadar abu yang diperoleh dibawah 10%, maka kemampuan adsorben sangat baik karena kandungan mineral maupun senyawa anorganik pada material adsorben semakin sedikit sehingga dapat meningkatkan kestabilan termal dan daya adsorpsi (Utami & Novallyan, 2019).

G. Karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) karbon aktif

Analisa karbon aktif dilakukan dengan cara menggunakan bantuan instrumen *fourier transform infra red* (FTIR). Analisa menggunakan spektrofotometer FTIR umumnya digunakan untuk memperoleh informasi dari suatu gugus fungsi dari senyawa organik dan mengetahui informasi suatu struktur senyawa organik dengan melihat karakteristik gugus fungsi pada daerah sidik jari. Pengukuran menggunakan spektrofotometer FTIR dilakukan daerah cahaya merah tengah pada bilangan gelombang $4000-200\text{ cm}^{-1}$.

Prinsip kerja FTIR, yaitu frekuensi dari radiasi inframerah yang dilewatkan pada suatu sampel akan diserap oleh sampel tersebut yang akan diukur sebagai

persen transmittan dan diseleksi oleh monokromator. Energi yang dihasilkan oleh radiasi infra merah ini, kemudian akan menyebabkan getaran pada molekul sehingga akan menghasilkan suatu pita absorptansi yang spesifik untuk beberapa tipe gugus fungsi. Metode ini sangat berguna untuk mengidentifikasi secara spesifik gugus fungsi dari suatu senyawa organik dan organometalik (Dachriyanus, 2004). Skema alat spektrofotometer FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema alat FTIR (Sumber: Dachriyanus, 2004)

Analisa menggunakan FTIR akan dilakukan pada sampel karbon aktif yang bertujuan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi khas yang terdapat pada karbon aktif hasil aktivasi. Spektrum yang akan dihasilkan sesudah aktivasi kimiawi akan mengalami pergeseran puncak serapan bilangan gelombang dari gugus fungsi sehingga akan teridentifikasi munculnya puncak baru pada spektrum (Batu dkk., 2022). Puncak baru akan memberikan informasi gugus fungsi yang khas pada karbon aktif.

Beberapa gugus fungsi yang khas pada karbon aktif, yaitu gugus fungsi -OH *stretching* pada alkohol dan fenol, -CH pada *stretching* pada alkana, C=O *stretching* pada asam karboksilat dan aldehid, C=C *stretching* pada aromatik, C-N *stretching* pada amina aromatik dan C-O *stretching* dari alkohol, asam karboksilat,

ester dan eter, C-C *stretching* dari alkana dan =C-H *bending* dari alkana. Gugus fungsi baru yang terbentuk setelah teraktivasi, yaitu gugus fungsi C-C *stretching* dari alkana dan =C-H *bending* dari alkana (Bardhan dkk., 2020).

Penentuan gugus fungsi khas karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi dilakukan berdasarkan bilangan gelombang yang dihasilkan oleh spektra FTIR. Bilangan gelombang yang dihasilkan oleh spektra FTIR dilakukan studi literatur terhadap gugus fungsi yang terdeteksi. Adapun proses penentuan spektrum FTIR akan dilakukan dengan cara meletakkan sampel pada tempat sampel instrumen FTIR, kemudian melanjutkan dengan melakukan pemindaian hingga menghasilkan spektrum pada monitor. Interpretasi spektra dilakukan dengan membandingkannya dengan kajian pustaka untuk mengklasifikasikan gugus fungsi berdasarkan bilangan gelombang dihasilkan dengan merujuk pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Puncak serapan FTIR dari gugus fungsional

Gugus fungsi	Vibrasi	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Intensitas
Alkana C-H C-H	Regang Tekuk	2990-2850 1480-1430 dan 1395-1340	Sedang hingga kuat Sedang hingga lemah
Alkena =C-H C=C =C-H	Regang Regang Tekuk	3100-3000 1680-1620 (jenuh.), 1650-1600 (terkonjugasi) 995-685	Sedang Lemah hingga sedang Kuat
Alkuna $\equiv$ C-H C $\equiv$ C	Regang Regang	3310-3200 2250-2100	Kuat Sedang hingga lemah
Senyawa Aromatik C-H C=C C-H	Regang Regang Tekuk	3100-3000 1620-1440 900-680	Sedang hingga lemah Sedang hingga lemah Kuat

Gugus fungsi	Vibrasi	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Intensitas
Alkohol O-H	Regang	3650–3550 (tanpa ikatan hidrogen), 3550–3200 (ada ikatan hidrogen)	Sedang Melebar dan kuat
C-O	Regang	1300–1000	Kuat
Amina N-H	Regang	3550–3250	Melebar, sedang (1° dua pita, 2° satu pita)
Nitril C≡N	Regang	2280–2200	Kuat
Aldehid C-H	Regang	2900–2800 dan 2800–2700	Lemah
C=O	Regang	1740–1720 (jenuh), 1715–1680 (terkonjugasi)	Lemah
Keton C=O	Regang	1750–1705 (jenuh), 1700–1650 (terkonjugasi)	Kuat
Ester C=O	Regang	1765–1735 (jenuh.), 1730–1715 (terkonjugasi)	Kuat
C-O	Regang	1300–1000	Kuat
Asam karboksilat O-H	Regang	3200–2500	Melebar, sedang hingga lemah
C=O	Regang	1725–1700 (jenuh), 1715–1680 (terkonjugasi)	Kuat
C-O	Regang	1300–1000	Kuat
Amida N-H	Regang	3500–3150	Sedang (1° dua pita, 2° satu pita)
C=O	Regang	1700–1630	Kuat
Anhidrat C=O	Regang	1850–1800 dan 1790–1740	Kuat
C-O	Regang	1300–1000	Kuat

Gugus fungsi	Vibrasi	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Intensitas
Asil klorida $\text{C}=\text{O}$	Regang	1815–1770	Kuat
Senyawa nitro NO_2	Regang	1570–1490 dan 1390–1300	Kuat

(Sumber: Mohrig dkk., 2010)

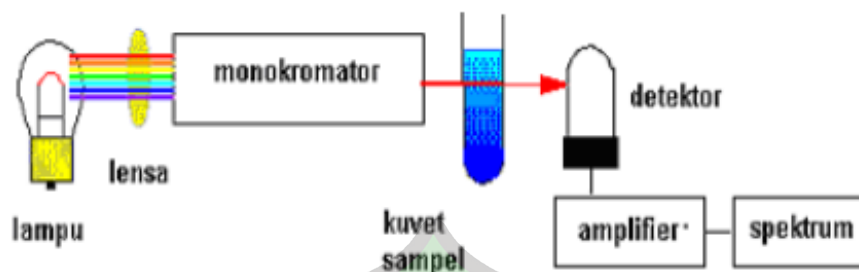
H. Prinsip Spektrofotometer *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis)

Spektrofotometer UV-Vis merupakan instrumen yang berfungsi mengukur absorbansi suatu sampel zat yang berwarna. Spektrofotometer UV-Vis, umumnya digunakan sebagai:

1. Menentukan jenis kromofor dan ikatan rangkap terkonjugasi dari suatu senyawa. Syarat pengujian suatu senyawa menggunakan instrumen ini, yaitu harus memiliki intensitas warna.
2. Menginformasikan struktur berdasarkan panjang gelombang maksimum dari suatu senyawa.
3. Menganalisis konsentrasi suatu senyawa secara kuantitatif berdasarkan persamaan Lambert-Beer.

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis, yaitu berupa interaksi energi yang dihasilkan oleh sinar monokromatis dari sumber sinyal terhadap molekul yang terdapat pada zat warna. Penyerapan sinar tampak dan sinar ultra violet dihasilkan oleh suatu energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar (*ground state*) ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited state*). Peristiwa ini akan menghasilkan suatu informasi berupa suatu spektrum pada monitor

spektrofotometer UV-Vis. Mekanisme kerja spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema alat spektrofotometer UV-Vis (Sumber: Dachriyanus, 2004)

Penentuan konsentrasi dari suatu analit yang digunakan di dalam larutan bisa ditentukan dengan melakukan proses pengukuran absorbansi pada panjang gelombang tertentu menggunakan persamaan Lambert-Beer (Dachriyanus, 2004). Hukum Lambert-Beer menyatakan suatu hubungan linearitas antara absorbansi terhadap konsentrasi analit. Persamaan dari Lambert-Beer dapat merujuk pada persamaan 2.1.

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: A= Absorbansi
 ϵ = Koefisien ekstingsi molar(M/cm)
 b= Tebal kuvet (cm)
 C= Konsentrasi (M)
 (Dachriyanus, 2004)

I. Penentuan Daya Serap

Penentuan daya serap merupakan pengujian yang dilakukan terhadap karbon aktif untuk memperoleh informasi terhadap kemampuan karbon aktif dalam menyerap zat warna atau adsorbat (A. Irawan, 2019). Uji daya serap dilakukan dengan menggunakan bantuan instrumen spektrofotometer *ultra violet-visible* (UV-Vis). Pengukuran beberapa variasi terhadap analit akan menghasilkan suatu kurva

kalibrasi yang menyatakan hubungan konsentrasi larutan standar terhadap absorbansi yang dihasilkan melalui suatu persamaan regresi linear seperti pada persamaan 2.2.

$$y = ax + b \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan: y= Variabel dependen
 a= *Slope*
 x= Variabel independen
 b= *Intercept*
 (Nitsae dkk., 2021)

Kurva kalibrasi standar larutan metilen biru yang diperoleh akan digunakan pada beberapa pengujian daya serap yang meliputi perhitungan kapasitas adsorpsi (q_e) beserta persentase efisiensi adsorpsi (%EA), penentuan model isotherm adsorpsi dan penentuan kinetika reaksi.

1. Perhitungan kapasitas adsorpsi (q_e) dan persentase efisiensi adsorpsi (%EA)

Penentuan kapasitas adsorpsi optimum (q_e) merupakan banyaknya adsorbat yang mampu terperangkap pada pori-pori karbon aktif. Sedangkan, efisiensi adsorpsi adalah persentase kemampuan dari adsorben untuk menghilangkan adsorbat. Penentuan kapasitas adsorpsi optimum dapat merujuk pada persamaan 2.3.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{M} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan: C_0 = Konsentrasi awal larutan metilen biru (mg/L)
 C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)
 M= Berat adsorben (g)
 V= Volume larutan (L)
 (Joshi dkk., 2021)

Penentuan nilai persentase efisiensi adsorpsi (%EA) dapat merujuk pada persamaan 2.4.

$$(\%EA) = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan: C_{awal} = Konsentrasi awal larutan metilen biru (mg/L)

C_{akhir} = Konsentrasi akhir setelah adsorpsi (mg/L)

(Anggriani dkk., 2021)

2. Penentuan model isotherm adsorpsi

Studi model isotherm adsorpsi bertujuan untuk memberikan gambaran terhadap interaksi metilen biru dengan adsorben karbon aktif (Sintakindi & Ankamwar, 2020). Model isotherm adsorpsi yang umum digunakan, yaitu model isotherm Langmuir, Freundlich dan Temkin. Model isotherm Langmuir mengasumsikan bahwa penentuan kapasitas adsorpsi optimum berlangsung pada lapisan *monolayer* pada permukaan adsorben karena mengandung beberapa situs aktif tetap (Anugrahwati dkk., 2021) dan ikatan yang terjadi pada permukaan adsorben berlangsung secara kimisorpsi (Wijayanti dkk., 2018). Melalui model ini, terdapat empat asumsi terhadap interaksi molekul adsorbat dengan permukaan *monolayer* adsorben (Ragadhita & Nandiyanto, 2021) :

1. Molekul diadsorpsi oleh situs tetap pada permukaan adsorben yang bersifat homogen.
2. Setiap situs hanya dapat menarik satu adsorbat molekul yang saling terikat pada setiap situs..
3. Semua situs pada permukaan adsorben memiliki energi yang sama.
4. Tidak ada interaksi antara molekul teradsorpsi dengan sekitar situs sehingga membentuk lapisan *monolayer*.

5. Adsorbat teradsorpsi secara *irreversible*, yaitu hanya teradsorpsi pada tempat yang sudah tertentu dan tidak dapat bergerak ke permukaan padatan lainnya.

Model isotherm Langmuir dapat diinterpretasikan melalui hubungan plot $1/C_e$ terhadap $1/q_e$. Hubungan linearitas akan menghasilkan nilai *intercept* yang akan dinyatakan sebagai parameter $1/q_{\max}$ pada titik potong sumbu y. Sedangkan, nilai $1/K_L \times q_{\max} \times C_e$ merupakan parameter nilai tangen arah atau *slope*. Berdasarkan harga *intercept* dan *slope* dari hubungan linearitas, maka Parameter K_L dan $q_{\max}$ dapat dihitung menggunakan persamaan isotherm Langmuir. Persamaan linear model isotherm Langmuir dapat merujuk pada persamaan 2.5.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{\max} C_e} + \frac{1}{q_{\max}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan: q_e = Jumlah metilen biru yang teradsorpsi (mg/g)

C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

K_L = Koefisien energi adsorpsi (L/mg)

$q_{\max}$ = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

(Atikah dkk., 2021)

Parameter nilai $q_{\max}$ memberikan informasi terhadap kapasitas adsorpsi maksimum yang pada lapisan *monolayer*. Sedangkan, nilai K_L akan memberikan informasi berupa kuat atau lemahnya dari interaksi antara molekul adsorbat dengan situs aktif pada permukaan adsorben. Jika nilai K_L yang diperoleh tinggi, maka mengindikasikan bahwa interaksi yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben berlangsung kuat. Sedangkan, nilai K_L yang diperoleh cenderung rendah, maka akan menunjukkan interaksi antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben berlangsung lemah (Ragadhita & Nandiyanto, 2021). Model isotherm Langmuir

juga terdapat faktor penting, yaitu faktor pemisahan (R_L) yang dapat merujuk pada persamaan 2.6.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_e} \dots\dots\dots (2.6)$$

Faktor pemisahan ini menunjukkan informasinya berdasarkan nilai:

- a. Apabila $R_L > 1$, maka memungkinkan terjadinya proses adsorpsi, namun sebagian besar menyebabkan terjadinya proses desorpsi.
- b. Apabila $R_L = 0$, maka laju adsorpsi berlangsung secara linear (bergantung pada jumlah dan konsentrasi adsorbat yang diserap oleh adsorben).
- c. Apabila $R_L < 1$, maka proses adsorpsi berlangsung secara *irreversible*.

Isotherm Freundlich mengasumsikan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen sehingga penentuan kapasitas adsorpsi maksimum berlangsung pada lapisan *multilayer* atau terjadi dalam bentuk beberapa lapisan (Anugrahwati dkk., 2021). Ikatan yang terjadi pada permukaan adsorben menggunakan model isotherm ini berlangsung secara fisisorpsi (Wijayanti dkk., 2018). Mekanisme adsorpsi secara fisisorpsi, yaitu terdapat gaya Vand der Waals yang terjadi antar ion adsorbat yang terdapat di dalam larutan sehingga ikatan antara adsorbat dengan adsorben bersifat lemah karena memungkinkan adsorbat untuk bergerak secara bebas (*reversible*) hingga proses adsorpsi berlangsung secara banyak lapisan (Anggriani dkk., 2021).

Model isotherm Freundlich dapat diinterpretasikan melalui hubungan plot $\ln C_e$ terhadap $\ln q_e$. Nilai $1/n \ln C_e$ merupakan nilai *slope*, sedangkan $\ln K_f$ merupakan nilai *intercept* (Togue Kamga, 2019). Persamaan linear model isotherm Freundlich dapat merujuk pada persamaan 2.7.

$$\ln q_e = \ln K_f + 1/n \ln C_e \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan: q_e = Jumlah metilen biru yang teradsorpsi (mg/g)
 C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)
 K_f = Konsntanta Freundlich (mg/g)
 n = intensitas adsorpsi
 (Ragadhita & Nandiyanto, 2021)

Parameter K_f memberikan informasi terhadap konstanta Freundlich melalui mekanisme adsorpsi. Sedangkan, nilai intensitas adsorpsi (n) memberikan informasi derajat linearitas antara molekul adsorbat dengan mekanisme adsorpsi (Ragadhita & Nandiyanto, 2021). Interpretasi nilai n sebagai berikut:

- a. $n = 1$, adsorpsi berlangsung secara linear.
- b. $n < 1$, proses adsorpsi berlangsung adanya interaksi kimia.
- c. $n > 1$, proses adsorpsi berlangsung adanya interaksi fisik.
- d. Proses adsorpsi yang paling baik dinyatakan pada saat $0 < 1/n < 1$ dan proses adsorpsi responsif terjadi ketika $1/n > 1$.

Model isotherm Temkin memberikan informasi terhadap variasi serapan energi. Proses ini mengidentifikasikan bahwa adanya serapan panas yang dicirikan oleh cara metilen biru tertahan pada area permukaan karbon aktif sehingga melalui model isotherm ini menunjukkan adanya proses adsorpsi secara fisik (Kamga, 2019). Model isotherm Temkin dapat menginterpretasikan berdasarkan hubungan plot $\ln C_e$ terhadap q_e . Jika parameter serapan panas (b) pada model ini < 8 kJ/mol, maka proses adsorpsi terjadi secara fisik. Parameter Konstanta Temkin (A_T) merupakan konstanta yang mengikat kesetimbangan antara interaksi adsorbat dan adsorben (Ragadhita & Nandiyanto, 2021). Persamaan linear dari kurva dapat merujuk pada persamaan 2.8.

$$q_e = \frac{RT}{b_t} \ln(A_T) + \frac{RT}{b_t} \ln(C_e) \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan: q_e = Jumlah metilen biru yang teradsorpsi (mg/g)

C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

A_T = Konstanta isotherm Temkin (L/ μ mol)

b_t = Konstanta serapan panas (J/mol)

R = Konstanta gas ideal (8,314 J/mol/K)

T = temperatur (298 K)

(Kamga, 2019)

Kurva yang akan dibuatkan dari ketiga model isotherm adsorpsi, kemudian akan dibandingkan nilai koefisien determinasi (R^2). Model isotherm adsorpsi yang sesuai di dalam tahapan ini, yaitu kurva yang memiliki koefisien determinasi (R^2) mendekati angka satu.

3. Penentuan kinetika reaksi

Pengikatan suatu adsorbat zat warna pada situs aktif pada area permukaan karbon aktif umumnya berlangsung secara cepat. Namun, terkadang terdapat ketidaksesuaian antara kepolaran adsorbat zat warna yang terperangkap pada area permukaan karbon aktif. Adsorpsi yang terjadi disebabkan oleh adanya interaksi gaya tarik menarik antara molekul adsorbat dengan permukaan aktif adsorben. Peristiwa ini, kemudian menyebabkan pengikatan molekul zat warna pada area karbon aktif berlangsung lama.

Lamanya proses ini dinyatakan sebagai suatu kinetika adsorpsi penyerapan adsorben terhadap adsorbat yang digunakan dalam suatu fungsi waktu kontak (Anggriani dkk., 2021). Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengujian terhadap kinetika reaksi untuk memperoleh informasi mekanisme lamanya laju adsorpsi dari suatu adsorben yang dapat dilihat berdasarkan karakteristik laju adsorpsinya (Hardiyati dkk., 2022). Model kinetika yang paling umum untuk mempelajari karakteristik laju

adsorpsi, yaitu model kinetika pseudo orde satu dan model kinetika pseudo orde dua.

Model kinetika pseudo orde satu menyatakan bahwa suatu konsentrasi adsorbat berlebih bila dibandingkan dengan jumlah sisi aktif yang tersedia pada area permukaan adsorben secara teratur dalam sistem penyerapan cair-padat (Borhan dkk., 2019). Model kinetika pseudo orde satu akan diplotkan dalam bentuk grafik $\log (q_e - q_t)$ terhadap waktu (t) (Astuti, 2018). Persamaan linear kinetika pseudo orde satu dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan Lagergen yang dapat merujuk pada persamaan 2.9.

$$\text{Log } (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \dots\dots\dots(2.9)$$

(Ariyanto dkk., 2021)

Nilai q_e dan k_1 dapat ditentukan berdasarkan persamaan regresi linear yang didapatkan melalui hubungan $\log (q_e - q_t)$ terhadap waktu (t) (Sintakindi & Ankamwar, 2020), dimana harga $\log q_e$ merupakan nilai *intercept* pada titik potong sumbu vertikal dan harga $-k_1/2,303$ merupakan nilai tangen arah atau *slope* (Astuti, 2018). Harga ketetapan q_e dapat diperoleh dari hasil antilog *intercept*. Sedangkan, harga ketetapan k_1 dapat diperoleh dari perkalian *-slope* dengan nilai 2,303 yang berdasarkan persamaan kinetika pseudo orde satu.

Model kinetika pseudo orde dua menyatakan bahwa hubungan secara linearitas antara jumlah situs aktif kosong dengan kapasitas adsorpsi proporsional dari adsorben (Borhan dkk., 2019). Model kinetika pseudo orde dua akan dibuatkan kurva hubungan t/q_t terhadap waktu (t). Persamaan linear kinetika pseudo orde kedua dapat merujuk pada persamaan 2.10.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan: q_e = Jumlah konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

q_t = Jumlah konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi pada saat t (mg/g)

k_1 = Konstanta laju adsorpsi pseudo order satu (L/min)

k_2 = Konstanta laju adsorpsi pseudo order dua (mg/g.min)

t = waktu (menit)

(Ariyanto dkk., 2021)

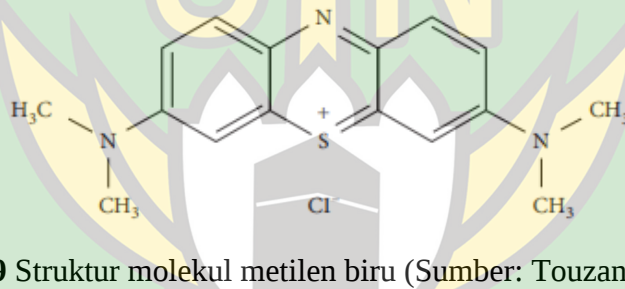
Model kinetika pseudo semu dua jika diplotkan dalam bentuk grafik t/q_t terhadap t . Hasil plot dari tersebut memberikan suatu hubungan persamaan linear dengan $1/k_2 q_e^2$ sebagai nilai *intercept* pada sumbu vertikal dan $1/q_e$ sebagai nilai *slope* (Atikah dkk., 2021). Berdasarkan data yang akan diperoleh, maka nilai k_2 dapat dihitung berdasarkan nilai *intercept*, sedangkan nilai q_e dapat dihitung berdasarkan nilai *slope* yang akan diperoleh dari persamaan garis lurus yang akan dihasilkan oleh grafik berdasarkan hubungan t/q_t terhadap t . Berdasarkan kedua model kinetika adsorpsi tersebut, maka model kinetika adsorpsi yang paling sesuai dalam studi penentuan model kinetika adsorpsi, yaitu merujuk pada nilai koefisien determinasi (R^2) yang paling tinggi dengan mendekati angka 1 (Anggriani dkk., 2021).

J. Metilen Biru

Metilen biru ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) merupakan pewarna sintetis yang bersifat kationik dan merupakan turunan amina dan memiliki struktur kation atomatik heterosiklik yang kompleks dengan berat molekul sebesar 319,86 g/mol (Oladoye dkk., 2022). Pewarna sintetis ini memiliki sifat yang sangat mudah untuk larut di dalam air dengan kelarutan sebesar $4,36 \times 10^4$ mg/L, titik lebur pada suhu 105°C

(Rizki dkk., 2019). Metilen biru memiliki beberapa gugus fungsi diantaranya, yaitu terdapat dua gugus amina (NH_2), dua gugus metilena (CH_2) yang menghubungkan dua cincin benzena, satu gugus metil (CH_3) yang terikat pada salah satu cincin benzena dan gugus dimetilamino ($\text{N}(\text{CH}_3)_2$).

Gugus dimetilamino mampu menerima satu proton maupun lebih dari lingkungan sekitarnya sehingga membentuk kation ($\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$) yang membuat sifat dari metilen biru menjadi kationik dan berperilaku sebagai asam lemah sehingga dapat berinteraksi dengan molekul yang anionik lainnya dengan mudah. Oleh sebab itu, metilen biru banyak dimanfaatkan di dalam industri tekstil dan pewarnaan karena menghasilkan intensitas warna biru yang cukup tinggi (Wati dkk., 2021). Struktur molekul metilen biru dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur molekul metilen biru (Sumber: Touzani dkk., 2022)

Paparan metilen biru umumnya sangat berbahaya bagi eksoistem air maupun terhadap makhluk hidup lainnya. Paparan metilen biru yang tercemar di dalam air dapat menyebabkan permasalahan yang serius terhadap lingkungan perairan karena dapat menghambat penetrasi sinar matahari sehingga menurunkan efek fotosintesis tumbuhan air sehingga mengganggu kehidupan makhluk air karena dapat menurunkan kadar oksigen di dalam ekosistem perairan (Baunsele & Missa, 2020). Paparan metilen biru yang tinggi juga sangat berbahaya bagi manusia

apabila dikonsumsi dengan kadar yang cukup tinggi. Metilen biru memiliki sifat toksisitas yang cukup tinggi yang bisa menyebabkan iritasi pada kulit, alergi dan perubahan genetik manusia (mutagenetik). Paparan limbah metilen biru juga bersifat karsinogenik yang dapat memicu risiko pertumbuhan kanker (Din dkk., 2021).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Garis Besar Penelitian

Secara umum, penelitian ini meliputi lima tahap, yaitu preparasi sampel, karbonisasi, aktivasi, uji karakterisasi dengan beberapa pengujian yang meliputi pengujian rendemen, kadar air, kadar abu dan analisa gugus fungsi karbon aktif menggunakan FTIR, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran daya serap metilen biru oleh karbon aktif dengan bantuan spektrofotometri UV-Vis.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *electrical furnace*, alu dan mortar, cawan porselen Asuka, neraca analitik, batang pengaduk, desikator, *stopwatch*, ayakan 80-100 mesh, alat-alat gelas, kertas indikator universal, perangkat sokletasi, *fourier transform infrared* (FTIR) PerkinElmer tipe *spectrum two*, oven, hot plate *thermo scientific* dan spektrofotometri UV-Vis Genesys 30.

2. Bahan

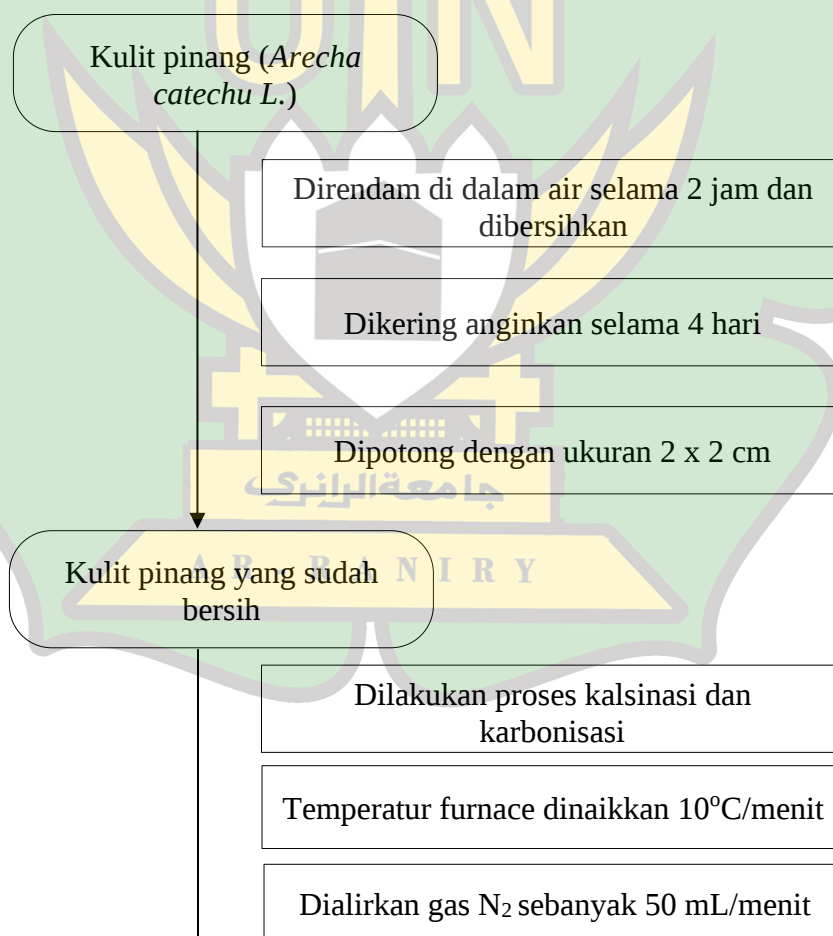
Adapun bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit pinang, aqua DM, gas nitrogen (N_2), aseton 98%, larutan asam klorida (HCl) 0,5 M dan zat warna metilen biru.

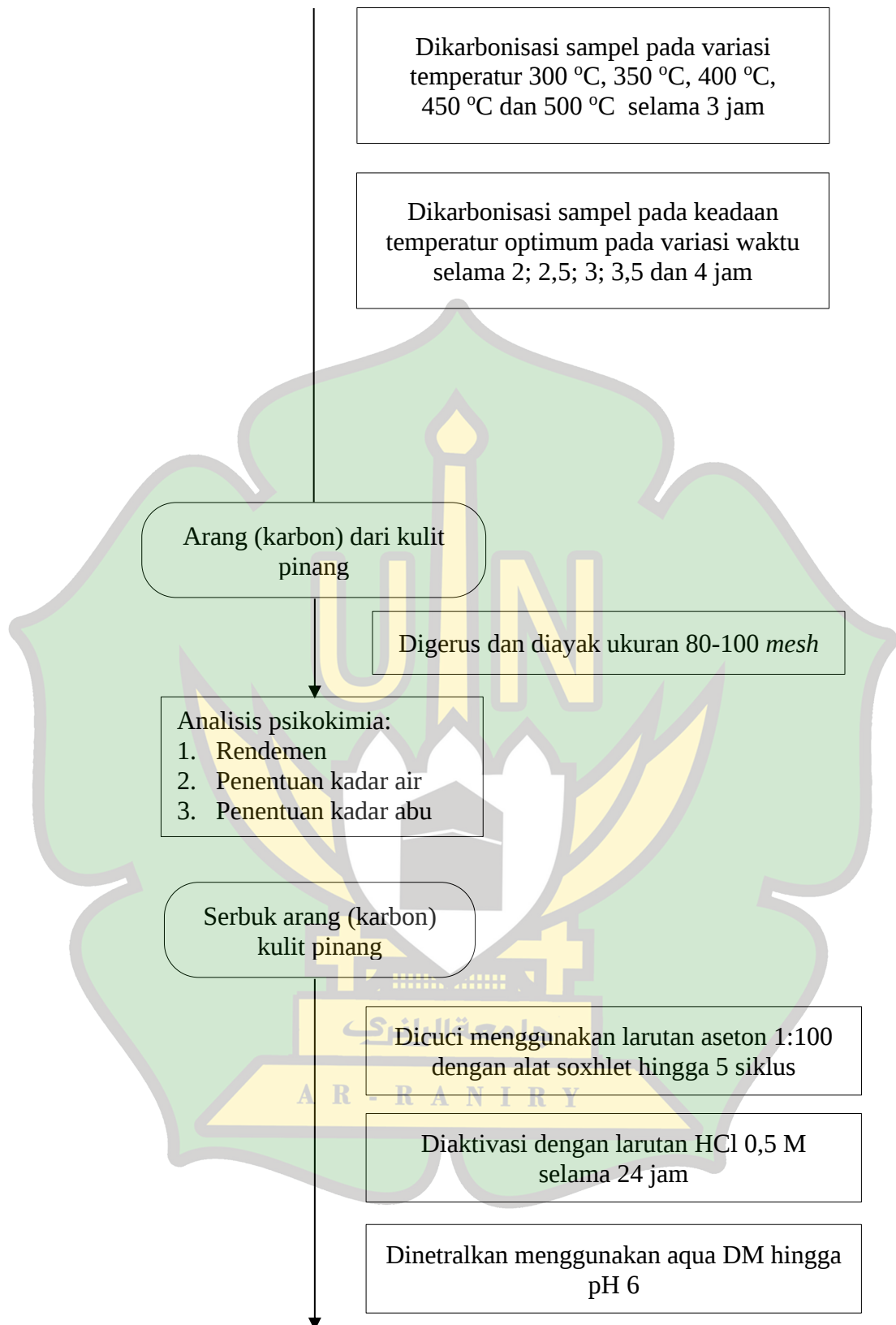
C. Waktu dan Tempat

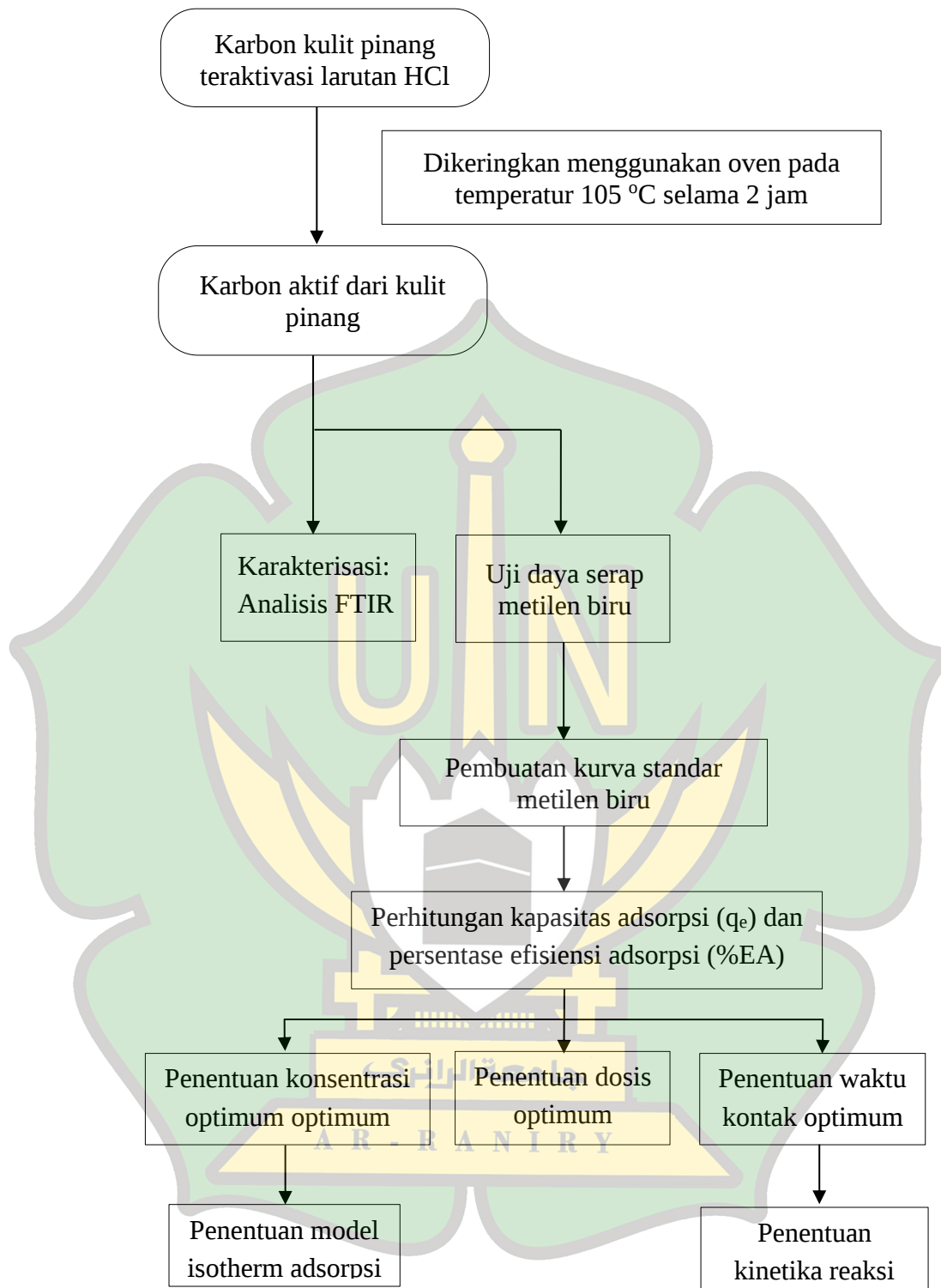
Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan November 2022 sampai dengan bulan Juli 2023. Pengambilan sampel limbah kulit pinang akan dilakukan di daerah

Desa Ujong XII, Kabupaten Aceh Besar. Tahapan preparasi sampel yang meliputi tahapan pembersihan dan penjemuran akan dilakukan di Desa Pasie Lubuk. Karbonisasi akan dilakukan di Laboratorium Sumber Daya dan Energi Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala. Uji karakterisasi gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry. Proses sokletasi, aktivasi, pengeringan karbon, pengujian fisikokimia yang meliputi uji rendemen, kadar abu dan kadar air serta uji daya serap metilen biru menggunakan instrumen UV-Vis dilakukan di Laboratorium Pendidikan Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

D. Prosedur Kerja







Gambar 3.1 Bagan alir pembuatan karbon aktif limbah kulit pinang

1. Preparasi sampel

Proses preparasi sampel merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk menghilangkan zat pengotor pada kulit pinang dengan cara membersihkannya menggunakan air hingga bersih, kemudian akan direndam selama 2 jam dan dikering anginkan selama 4 hari di udara terbuka dan terhindar dari kontak langsung sinar matahari. Jika terkena sinar matahari maka, senyawa metabolit sekunder yang terdapat dalam sampel akan mengalami dekomposisi yang dapat mempengaruhi kualitas dan kemurnian karbon aktif pada tahapan karakterisasi. Kulit pinang yang bersih dan kering, kemudian dipotong ukuran 1 x 1 cm untuk mempercepat proses karbonisasi (Utami & Novallyan, 2019).

2. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses dekomposisi suatu zat organik tanpa atau sedikit oksigen menggunakan temperatur tinggi menjadi residu berupa zat karbon menggunakan bantuan alat *furnace*. Sampel kulit pinang dikarbonisasi menggunakan alat *furnace* dengan cara menaikkan temperatur *furnace* setiap 10°C/menit hingga mencapai temperatur yang diinginkan (Tiwari dkk., 2019). Tahapan ini juga akan diiringi oleh proses kalsinasi dengan cara mengalirkan gas murni N₂ dengan laju alir sebanyak 10 mL/menit secara konstan pada 2 menit di awal dan 8 menit pada suhu 250-300 °C (Danish dkk., 2021). Karbonisasi sampel kulit pinang diberikan perlakuan berupa variasi temperatur, yaitu 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C dan 500 °C selama 3 jam untuk memperoleh temperatur optimumnya. Tahap ini, kemudian akan dilanjutkan lagi dengan variasi waktu terhadap temperatur optimum, yaitu selama 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, 3,5 jam dan 4

jam. Optimasi yang akan dilakukan pada temperatur dan waktu bertujuan untuk memperoleh karbon dengan kualitas terbaik. Parameter temperatur dan waktu optimum karbonisasi yang digunakan, yaitu berdasarkan pada tingkat kadar abu paling sedikit yang dihasilkan pada setiap perlakuan.

Karbon hasil karbonisasi, kemudian didinginkan di dalam desikator selama 2 jam dan digerus zat karbon menggunakan mortar serta diayak menggunakan ayakan 80-100 *mesh* agar karbon menjadi homogen dan mudah untuk diproses lebih lanjut pada tahapan aktivasi. Hasil ayakan tersebut disimpan di dalam botol berwarna hitam yang tertutup rapat serta menghindari dari kontak langsung sinar matahari (Danish dkk., 2021). Kemudian, dilakukan pengujian fisikokimia untuk memperoleh kualitas karbon yang dihasilkan.

3. Analisis fisikokimia

Analisis fisikokimia dilakukan terhadap karbon sesudah proses karbonisasi. Analisis fisikokimia bertujuan untuk memperoleh informasi terkait kualitas karbon. Analisis fisikokimia yang digunakan meliputi perhitungan rendemen, kadar air dan kadar abu.

a. Perhitungan rendemen

Rendemen merupakan proses perhitungan kadar karbon aktif yang terbentuk setelah melewati karbonisasi. Perhitungan rendemen diperoleh dengan cara membandingkan berat karbon setelah karbonisasi dengan sampel kering kulit pinang. Perhitungan rendemen merujuk pada persamaan 3.1.

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{berat karbon}}{\text{berat awal serbuk karbon kulit pinang}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

(Joshi dkk., 2021)

b. Perhitungan kadar air (SNI 06-3730-1995)

Penentuan kadar air dilakukan dengan cara menimbang terlebih dahulu krusibel kosong dan berat krusibel berisi karbon aktif sebanyak 1 gram menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada temperatur 105°C selama 3 jam dan disimpan di dalam desikator (Ridhayanti & Rusmini, 2020). Perhitungan kadar air menggunakan persamaan 3.2.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan: a= Massa awal sebelum pemanasan (g)
b= Massa akhir sesudah pemanasan (g)
(Legiso dkk., 2019)

c. Perhitungan kadar abu (SNI 06-3730-1995)

Penentuan kadar abu dilakukan dengan cara menimbang terlebih dahulu krusibel kosong dan krusibel yang berisi zat karbon atau karbon aktif sebanyak 1 gram menggunakan neraca analitik. Krusibel yang berisi zat karbon, kemudian dipanaskan menggunakan *furnace* dengan temperatur 805 °C selama 1 jam. Hasil karbonisasi, kemudian dilakukan proses penimbangan. Perhitungan kadar abu menggunakan persamaan 3.3.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{W_{ac}-W_c}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan: W_{ac} = Massa krusibel + sampel perlakuan (g)
 W_c = Massa krusibel
 W_s = Massa sampel awal (g)
(Bardhan dkk., 2020)

4. Aktivasi karbon

Aktivasi karbon merupakan proses untuk memperbesar ukuran diameter pori-pori serta membentuk beberapa pori lainnya dari sampel yang telah melewati

proses karbonisasi sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari karbon yang dihasilkan (Astuti, 2018). Tahapan ini diawali dengan proses pencucian karbon hasil karbonisasi dengan bantuan rangkaian alat sokletasi menggunakan pelarut aseton 98% dengan perbandingan karbon dan aseton, yaitu 1:10. Pembilasan ini bertujuan untuk melarutkan seperti zat pengotor yang menutup pori karbon. Kelebihan menggunakan sokletasi, yaitu proses akan berlangsung secara berkesinambungan menggunakan pelarut murni sehingga menghasilkan rendemen karbon yang lebih banyak (Wijaya dkk., 2019).

Simplisia yang berisi zat karbon, kemudian akan dimasukkan ke dalam selongsong yang terbuat dari kertas saring dan memasukkannya ke dalam tabung soklet. Tahapan ini dilanjutkan dengan melakukan pemanasan menggunakan pelarut aseton sesuai dengan titik didihnya, yaitu 56 °C selama 5 siklus. Pelarut aseton mengalami proses penguapan hingga terjadi peristiwa kondensasi pada tabung kondensor hingga terbentuk tetesan cairan pelarut yang menetes ke simplisia karbon. Karbon hasil pembilasan dengan aseton, kemudian dipanaskan pada suhu 105 °C selama 4 jam dan disimpan di dalam desikator hingga karbon menjadi kering.

Karbon hasil pembilasan menggunakan larutan aseton, kemudian ditambahkan asam klorida (HCl) 0,5 M dan didiamkan selama 24 jam untuk dilakukan proses aktivasi secara kimiawi (Nurdin dkk., 2022). Arang kulit pinang hasil aktivasi menggunakan asam klorida, kemudian dilakukan proses pembilasan menggunakan aqua DM hingga pH 6 dan menyaringnya menggunakan kertas saring. Pembilasan bertujuan menghilangkan ion klorida dan senyawa organik

yang masih terkandung di dalam pori karbon yang sudah teraktivasi. Proses aktivasi ini akan diulangi kembali sebanyak 3 kali. Tahapan ini akan menghasilkan berupa karbon yang sudah teraktivasi (karbon aktif).

Karbon aktif hasil pembilasan dilanjutkan pada tahapan pengeringan menggunakan oven pada temperatur 105 °C selama 4 jam untuk mengurangi kadar air yang masih tertinggal pada area permukaan dan pori-pori karbon aktif (Astuti, 2018). Proses pengeringan menghasilkan karbon aktif kering yang terbebas dari kandungan air dan dilanjutkan pada tahapan pengujian secara fisikokimia sesudah aktivasi menggunakan larutan asam klorida, pengujian karakterisasi karbon aktif dan pengujian daya serap karbon aktif terhadap zat warna tekstil metilen biru.

5. Karakterisasi *fourier transform infrared* (FTIR) karbon aktif

Karakterisasi karbon aktif dilakukan dengan cara menggunakan bantuan instrumen *fourier transform infra red* (FTIR) yang berfungsi untuk memperoleh gugus fungsi yang khas pada karbon dan karbon aktif (Batu dkk., 2022). Penentuan gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan berdasarkan serapan bilangan gelombang yang teridentifikasi pada spektrum FTIR. Penentuan gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR pada penelitian ini dilakukan terhadap karbon dan karbon aktif.

Gugus fungsi khas yang telah berhasil diidentifikasi pada karbon, yaitu gugus fungsi -OH *stretching* alkohol dan fenol pada bilangan gelombang 3550-3650 cm^{-1} . Gugus fungsi -CH *stretching* alkana jenuh pada bilangan gelombang 1720–1740 cm^{-1} . Gugus fungsi C=O *stretching* asam karboksilat dan aldehid pada bilangan gelombang 1700-1725 cm^{-1} , gugus fungsi C=C *stretching* aromatik pada

bilangan gelombang 1440-1620 cm^{-1} , gugus fungsi C-N *stretching* amina aromatik pada bilangan gelombang 1266-1342 cm^{-1} dan C-O *stretching* alkohol, asam karboksilat, ester dan eter pada bilangan gelombang 1000-1300. Gugus fungsi baru yang muncul setelah proses aktivasi menjadi karbon aktif, yaitu gugus fungsi C=C *stretching* alkena pada bilangan gelombang 1620-1680 cm^{-1} dan gugus fungsi =C-H *bending* alkena pada bilangan gelombang 685-995 cm^{-1} (Bardhan dkk., 2020).

6. Penentuan daya serap larutan metilen biru

Penentuan daya serap menggunakan larutan metilen biru dilakukan dengan bantuan instrumen spektrofotometri UV-Vis. Studi adsorpsi menggunakan metilen biru meliputi tahapan pembuatan kurva kalibrasi larutan metilen biru, perhitungan kapasitas adsorpsi (q_e) dan persentase efisiensi adsorpsi (%EA), penentuan model isotherm adsorpsi dan penentuan kinetika reaksi.

a. Pembuatan kurva kalibrasi larutan standar metilen biru

Tahapan ini diawali dengan pembuatan larutan stok 1000 ppm, yaitu dilarutkan sebanyak 1 gram serbuk metilen biru menggunakan aqua DM ke dalam gelas kimia dan dipindahkan ke dalam labu ukur 1 L, kemudian ditambahkan aqua DM hingga mencapai tanda batas. Tahapan selanjutnya, yaitu larutan induk metilen biru 1000 ppm dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum menggunakan bantuan instrumen spektrofotometri UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-800 nm (Baunsele & Missa, 2020). Berdasarkan penelitian terdahulu, menunjukkan bahwa panjang gelombang maksimum dari larutan metilen biru, yaitu sebesar 664 nm (Khudhair dkk., 2020). Tahapan selanjutnya, yaitu menyiapkan sebanyak 5 buah labu ukur 100 mL untuk dilakukan variasi konsentrasi

larutan metilen biru menjadi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm dengan cara mengencerkannya dari larutan induk metilen biru 1000 ppm. Hasil variasi konsentrasi tersebut, kemudian dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang maksimum yang telah didapatkan sebelumnya, yaitu pada panjang gelombang 664 nm.

Hasil pengukuran absorbansi dari setiap variasi larutan metilen biru, kemudian dibuatkan kurva kalibrasi larutan standar metilen biru yang menyatakan hubungan konsentrasi terhadap absorbansi. Sumbu x menyatakan nilai konsentrasi larutan metilen biru, sedangkan sumbu y menyatakan absorbansi. Berdasarkan kurva yang diperoleh, kemudian didapatkan suatu persamaan regresi linear. Adapun bentuk umum persamaan regresi linear seperti pada persamaan 3.4.

$$y = ax + b \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan: y= Variabel dependen
a= *Slope*
x= Variabel independen
b= *Intercept*
(Nitsae dkk., 2021)

Persamaan regresi linear yang diperoleh dari kurva standar bertujuan untuk menghitung nilai konsentrasi metilen biru yang diserap oleh karbon aktif kulit pinang terhadap kapasitas adsorpsi dan kinetika adsorpsi menggunakan analisis spektrofotometri UV-Vis (Ernawati dkk., 2021).

b. Perhitungan kapasitas adsorpsi (q_e) dan persen efisiensi adsorpsi (%EA)

Kapasitas adsorpsi merupakan salah satu parameter penting yang digunakan dalam pengujian karbon aktif sebagai adsorben yang bertujuan untuk memperoleh informasi banyaknya adsorbat yang teradsorpsi pada area permukaan karbon aktif.

Efisiensi adsorpsi menyatakan persentase jumlah adsorbat yang diadsorpsi oleh adsorben.

Penentuan kapasitas adsorpsi optimum (q_e) merujuk pada persamaan 3.5 berikut:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{M} \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan: C_0 = Konsentrasi awal larutan metilen biru (mg/L)
 C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)
 M = Berat adsorben (g)
 V = Volume larutan (L)

(Joshi dkk., 2021)

Penentuan nilai persentase efisiensi adsorpsi (%EA) merujuk pada persamaan 3.6.

$$(\%EA) = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan: C_{awal} = Konsentrasi awal larutan metilen biru (mg/L)
 C_{akhir} = Konsentrasi akhir setelah adsorpsi (mg/L)

(Anggriani dkk., 2021)

c. Penentuan dosis optimum

Penentuan dosis optimum dilakukan dengan memvariasikan massa karbon aktif 0,025 gram, 0,050 gram, 0,075 gram dan 0,10 gram yang dilarutkan ke dalam 25 mL larutan metilen biru 10 ppm dengan waktu kontak selama 30 menit dan diaduk pada 150 rpm. Kemudian, filtrat dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai absorbansi yang diperoleh, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan standar metilen biru sehingga akan diperoleh nilai konsentrasi larutan metilen biru setelah mengalami proses adsorpsi

menggunakan karbon aktif. Nilai konsentrasi yang akan diperoleh dimasukkan ke dalam Persamaan 3.5 dan 3.6 untuk penentuan kapasitas adsorpsi optimum (q_e) dan persen efisiensi adsorpsi (%EA) dan kemudian dibuatkan kurva hubungan dosis dengan q_e dan %EA. Pada tahapan ini, diperoleh berupa dosis optimum dari karbon aktif kulit pinang.

d. Penentuan konsentrasi optimum

Penentuan konsentrasi optimum dilakukan dengan cara memasukkan dosis optimum karbon aktif yang diperoleh pada tahapan sebelumnya ke dalam 25 mL larutan metilen biru dengan variasi konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm dan 80 ppm dengan waktu kontak selama 30 menit dan diikuti proses pengadukan 150 rpm (Nitsae dkk., 2021). Kemudian, dilakukan proses penyaringan filtratnya menggunakan kertas saring. Filtrat larutan metilen biru hasil adsorpsi karbon aktif dari setiap variasi konsentrasi dan waktu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum larutan metilen biru.

Nilai absorbansi yang diperoleh, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear pada kurva standar metilen biru sehingga akan diperoleh nilai konsentrasi larutan metilen biru setelah mengalami proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Nilai konsentrasi yang telah diperoleh ini menjadi acuan dalam penentuan kapasitas adsorpsi optimum (q_e) dan persen efisiensi adsorpsi (%EA). Nilai q_e dan %EA. Tahapan ini akan menghasilkan parameter optimum berupa konsentrasi optimum larutan yang mampu diasorpsi oleh karbon aktif. Perhitungan nilai kapasitas dan efisiensi adsorpsi dapat merujuk pada persamaan 3.5 dan 3.6.

Data yang diperoleh dari kedua persamaan tersebut, kemudian diplotkan ke dalam bentuk kurva yang menyatakan suatu hubungan pengaruh konsentrasi larutan metilen biru (ppm) terhadap jumlah optimum metilen biru yang teradsorpsi (q_e) dan persen efisiensi adsorpsi (%EA) (Ernawati dkk., 2021). Tahapan ini akan diperoleh berupa parameter kapasitas optimum berdasarkan variasi konsentrasi larutan metilen biru.

e. Penentuan waktu kontak optimum

Perlakuan terhadap penentuan kinetika reaksi akan diawali dengan pengambilan dosis optimum karbon aktif pada tahapan sebelumnya dan melarutkannya dengan 25 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi optimum ke dalam erlenmeyer. Setelah itu, dilakukan variasi waktu kontak selama 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit, 90 menit, 105 menit dan 120 menit terhadap konsentrasi optimum yang digunakan dan dilakukan proses pengadukan pada kecepatan 150 rpm.

Kemudian, dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring sehingga menghasilkan filtrat metilen biru yang sudah diadsorpsi oleh karbon aktif. Filtrat metilen biru dilakukan pengukuran absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Kemudian, juga akan ditentukan nilai kapasitas q_e dan %EA yang merujuk pada persamaan 3.5 dan 3.6. Data yang diperoleh dari kedua persamaan tersebut, kemudian diplotkan ke dalam bentuk kurva yang akan menyatakan suatu hubungan pengaruh konsentrasi larutan metilen biru (ppm) terhadap jumlah optimum metilen biru yang teradsorpsi (q_e) dan persen efisiensi adsorpsi (%EA).

f. Penentuan model isotherm adsorpsi

Isotherm adsorpsi merupakan proses adsorpsi yang menyatakan suatu hubungan kesetimbangan pada temperatur tetap yang digunakan untuk mempelajari mekanisme terjadinya adsorpsi (Anggriani dkk., 2021). Penentuan model isotherm adsorpsi dilakukan dengan cara mengolah data terhadap variasi konsentrasi larutan metilen biru 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm dan 80 ppm dengan waktu kontak selama 30 menit yang telah diperoleh pada tahapan sebelumnya. Data yang diperoleh, kemudian ditentukan model isotherm adsorpsinya. Model isotherm adsorpsi yang akan digunakan, yaitu model isotherm isotherm Langmuir, Freundlich dan isotherm Temkin.

Model isotherm Langmuir merumuskan bahwa peristiwa adsorpsi terjadi pada lapisan *monolayer* atau *area active site* pada permukaan karbon aktif, peristiwa adsorpsi model ini juga dikenal dengan *chemisorption* (Kamga, 2019). Model isotherm Langmuir akan diinterpretasikan melalui hubungan plot $1/C_e$ sebagai sumbu x terhadap $1/q_e$ sebagai sumbu y. Hubungan linearitas akan menghasilkan nilai *intercept* yang akan dinyatakan sebagai parameter $1/q_{\max}$ pada titik potong sumbu y. Sedangkan, nilai $1/K_L \times q_{\max} \times C_e$ merupakan parameter nilai tangen arah atau *slope*. Berdasarkan hubungan tersebut, parameter K_L dan $q_{\max}$ dapat dihitung menggunakan persamaan model isotherm Langmuir (Atikah dkk., 2021). Persamaan linear model isotherm Langmuir dapat merujuk pada persamaan 3.7.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{\max} C_e} + \frac{1}{q_{\max}} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan: q_e = Jumlah metilen biru yang teradsorpsi (mg/g)
 C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

K_L = Konstanta Langmuir (L/mg)
 q_{max} = Kapasitas adsorpsi maksimum *monolayer* (mg/g)
 (Atikah dkk., 2021)

Model isotherm Langmuir juga terdapat faktor penting, yaitu faktor pemisahan (R_L) berdasarkan parameter K_L , dimana persamaan merujuk pada persamaan 3.8.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_e} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan: K_L = Koefisien energi adsorpsi (L/mg)
 C_e = Konsentrasi adsorbat saat mencapai kesetimbangan
 (Ragadhita & Nandiyanto, 2021)

Model isotherm Freundlich merumuskan bahwa proses adsorpsi terjadi pada lapisan *multilayer* pada area permukaan karbon aktif secara fisisorpsi (Kamga, 2019). Model isotherm Freundlich dapat diinterpretasikan melalui hubungan plot $\ln C_e$ sebagai sumbu x terhadap $\ln q_e$ sumbu y. Nilai $\ln K_f$ dari hubungan linear Freundlich merupakan nilai *intercept*. Sedangkan, $1/n \ln C_e$ merupakan parameter nilai tangen arah yang dinyatakan sebagai nilai *slope*. Dengan demikian, ketetapan K_f dan n_f dapat dihitung berdasarkan perolehan nilai *intercept* dan *slope*. Adapun persamaan model isotherm Freundlich dapat merujuk pada persamaan 3.9.

$$\ln q_e = \ln K_f + 1/n \ln C_e \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan: q_e = Jumlah metilen biru yang teradsorpsi (mg/g)
 C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)
 K_f = Konstanta Freundlich (mg/g)
 n = Intensitas adsorpsi
 (Ragadhita & Nandiyanto, 2021)

Model isotherm Temkin merumuskan bahwa di dalam kasus peristiwa adsorpsi gas pada permukaan padatan yang diangkut melalui fase cairan. Model ini juga memberikan informasi terhadap variasi serapan energi (Kamga, 2019). Model

isotherm Temkin dapat menginterpretasikan berdasarkan hubungan plot $\ln C_e$ terhadap q_e . Berdasarkan plot kedua hubungan tersebut akan menghasilkan suatu parameter *intercept* yang sama dengan $B_T \ln A_T$. Sedangkan, parameter *slope* merupakan nilai b_T (Ragadhita & Nandiyanto, 2021). Dengan demikian, parameter nilai ketetapan A_T dan B_T yang akan didapatkan dari *fitting data intercept* dan *slope* akan dihitung menggunakan persamaan linear Temkin yang dapat merujuk pada persamaan 3.10.

$$q_e = B_T \ln A_T + B_T \ln C_e \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana;

$$B_T = \frac{RT}{b_T}$$

Keterangan: q_e = Jumlah metilen biru yang teradsorpsi (mg/g)
 C_e = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)
 A_T = Konstanta isotherm Temkin (L/g)
 B_T = Konstanta serapan panas
 R = Konstanta gas ideal (8,314 J/mol/K)
 T = temperatur (298 K)
 b_T = Konstanta Temkin (J/mol)

(Kamga, 2019)

Jika parameter serapan panas (B_T) pada model ini <8 kJ/mol, maka proses adsorpsi terjadi secara fisik. Parameter Konstanta Temkin (A_T) merupakan konstanta yang mengikat kesetimbangan adsorbat dan adsorben (Ragadhita & Nandiyanto, 2021).

Berdasarkan kurva yang dibuatkan dari ketiga model isotherm adsorpsi akan menghasilkan nilai koefisien korelasinya (R^2), kemudian akan dibandingkan nilai koefisien korelasinya (R^2) dari setiap kurva yang dihasilkan. Model isotherm adsorpsi yang sesuai di dalam tahapan ini, yaitu kurva yang memiliki nilai R^2 mendekati angka 1. Nilai koefisien korelasi yang mendekati angka 1 akan

menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung pada area permukaan karbon aktif menjadi semakin baik (Sintakindi & Ankamwar, 2020).

g. Penentuan kinetika reaksi

Penentuan kinetika reaksi dilakukan bertujuan untuk menyelidiki terkait mekanisme jalannya proses laju adsorpsi. Perlakuan terhadap penentuan kinetika reaksi akan diawali dengan pengambilan material karbon aktif sebanyak 0,5 gram dan melarutkannya dengan 25 mL larutan metilen biru di dalam erlenmeyer. Konsentrasi larutan metilen biru digunakan pada tahap ini, yaitu didasarkan pada konsentrasi optimum yang telah didapatkan pada tahapan penentuan kapasitas adsorpsi (q_e) sebelumnya. Setelah itu, dilakukan variasi waktu kontak selama 5 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit terhadap konsentrasi optimum yang digunakan dan dilakukan proses pengadukan pada kecepatan 100 rpm. Kemudian, dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring sehingga menghasilkan filtrat metilen biru yang teradsorpsi karbon aktif.

Filtrat metilen biru diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Hasil pengukuran absorbansi dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear yang telah diperoleh pada kurva larutan standar metilen biru sehingga menghasilkan konsentrasi setelah diadsorpsi oleh karbon aktif berdasarkan variasi waktu, kemudian juga akan ditentukan nilai kapasitas adsorpsi (q_e). Nilai kapasitas adsorpsi yang akan diperoleh, kemudian akan dibuatkan kurva hubungan terhadap pengaruh waktu kontak (menit) terhadap kapasitas adsorpsi (q_e) sehingga akan diperoleh hasil berupa parameter waktu kontak optimum terhadap kapasitas adsorpsi optimum ($q_{e_{max}}$). Data yang akan diperoleh, kemudian akan dievaluasi

untuk penentuan kinetika adsorpsi melalui persamaan kinetika pseudo orde satu dan dua (Ariyanto dkk., 2021).

Model kinetika pseudo orde satu akan dibuatkan kurva hubungan waktu (t) sebagai sumbu x terhadap log (q_e – q_t) sebagai sumbu y. Persamaan linear kinetika pseudo orde satu dapat merujuk pada persamaan 3.11.

$$\text{Log } (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \dots\dots\dots(3.11)$$

(Ariyanto dkk., 2021)

Nilai ketetapan q_e dan k₁ dapat ditentukan berdasarkan nilai *intercept* dan *slope* berdasarkan persamaan regresi linear yang didapatkan melalui hubungan waktu (t) terhadap log (q_e – q_t) (Sintakindi & Ankamwar, 2020), dimana harga log q_e merupakan nilai *intercept* pada titik potong sumbu vertikal dan harga –(k₁/2,303) t merupakan nilai tangen arah atau *slope* (Astuti, 2018). Dengan demikian, ketetapan q_e dapat dihitung berdasarkan nilai *intercept* dan ketetapan k₁ dapat dihitung berdasarkan nilai *slope* yang akan diperoleh menggunakan persamaan kinetika pseudo orde satu. Model kinetika pseudo orde satu akan dibuatkan kurva hubungan waktu (t) sebagai sumbu x terhadap t/q_t sebagai sumbu y. Persamaan kinetika pseudo orde satu dapat merujuk pada persamaan 3.12.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan: q_e = Jumlah konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)
 q_t = Jumlah konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi pada saat t (mg/g)
 k₁ = Konstanta laju adsorpsi pseudo orde satu (L/min)
 k₂ = Konstanta laju adsorpsi pseudo orde satu (mg/g.min)
 t = waktu (menit)
 (Ariyanto dkk., 2021)

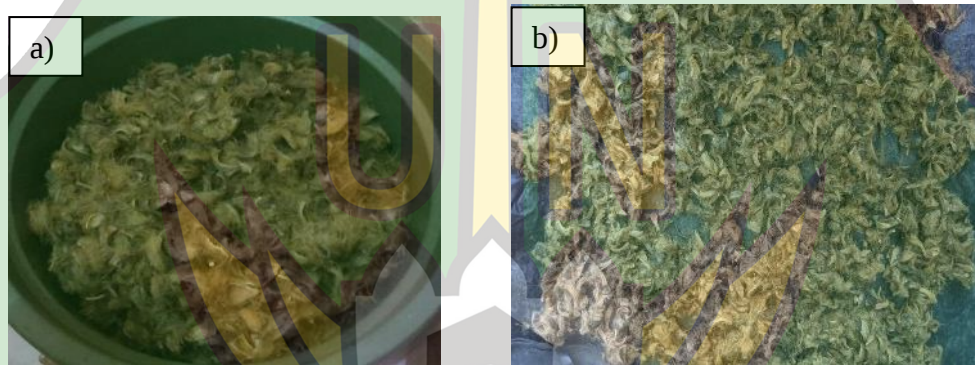
Hasil plot dari persamaan memberikan informasi terhadap suatu hubungan persamaan linear dengan $1/k_2q_e^2$ sebagai nilai *intercept* pada titik potong sumbu vertikal dan tangen arahnya sebesar $1/q_e$ yang diperoleh sebagai nilai *slope* (Atikah dkk., 2021). Berdasarkan hubungan tersebut, maka nilai ketetapan k_2 dapat dihitung berdasarkan nilai *intercept*, sedangkan nilai q_e dapat dihitung berdasarkan nilai *slope* yang akan diperoleh (Astuti, 2018). Berdasarkan kedua model kinetika adsorpsi tersebut menunjukkan bahwa model kinetika adsorpsi yang paling sesuai dalam tahapan ini, yaitu merujuk pada kurva yang akan diperoleh dengan merujuk pada nilai koefisien korelasi (R^2) yang paling tinggi dengan mendekati angka satu (Anggriani dkk., 2021).



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi Sampel

Bagian limbah dari kulit pinang yang digunakan untuk proses karbonisasi pada penelitian ini adalah bagian cangkang dan bagian sabut yang masih menempel pada kulitnya. Sampel kulit pinang kemudian dilakukan proses pencucian hingga bersih dan dikering anginkan tanpa terkena sinar matahari. Proses pencucian dan dikering anginkan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 a) Proses pencucian kulit pinang b) Proses dikering anginkan
(Sumber: Dokumentasi penelitian)

Proses dikering anginkan bertujuan untuk menghindari paparan sinar *ultraviolet* dari sinar matahari. Paparan sinar *ultraviolet* tersebut memiliki energi cukup tinggi untuk menyebabkan degradasi hemiselulosa dan depolimerisasi selulosa sehingga terjadinya perubahan sifat fisik dari kulit pinang (Cogulet dkk., 2016). Oleh sebab itu, paparan langsung sinar matahari terhadap sampel kulit pinang perlu dihindari karena dapat menyebabkan kualitas dan daya serap karbon aktif menjadi tidak optimal. Sampel kulit pinang yang sudah bersih dan kering, kemudian dilakukan proses pemotongan dengan ukuran $\pm 1 \times 1$ cm yang bertujuan

agar seluruh permukaan sampel kulit pinang dapat terkarbonisasi secara menyeluruh sehingga dapat mempercepat proses karbonisasi dari sampel kulit pinang (Utami & Novallyan, 2019).

Tahapan ini juga diikuti dengan proses penyortiran sampel kulit pinang, yaitu sampel kulit pinang yang berwarna hitam dan berjamur dipisahkan agar tidak mempengaruhi kualitas karbon aktif yang dihasilkan nantinya. Hasil pemotongan dan penyortiran sampel kulit pinang pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kulit pinang ukuran $\pm 1 \times 1$ cm (Sumber: Dokumentasi Penelitian)

B. Karbonisasi Kulit Pinang (*Arecha catechu L.*)

Serat kulit pinang merupakan salah satu material organik yang berlignoselulosa dengan komposisi selulosa sebesar 63,20%, hemiselulosa 32,98%, lignin 7,20% dan lemak 0,64% yang berpotensi untuk didekomposisi menjadi karbon menggunakan metode karbonisasi dengan temperatur yang tinggi tanpa atau sedikit oksigen (Bardhan dkk., 2020). Karbonisasi kulit pinang pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan alat *furnace* yang dialiri gas N_2 melalui dua tahapan. Tahapan pertama, yaitu 2 menit di awal untuk mengusir udara yang terdapat di dalam alat *furnace*. Tahapan kedua, yaitu pada suhu 250°C - 300°C selama 8 menit

pada saat terjadinya dekomposisi selulosa. Hal ini bertujuan untuk mengeluarkan asap yang sudah menumpuk di dalam alat furnace serta menjaga agar sampel tidak berkontak langsung dengan udara yang dapat menyebabkan proses oksidasi (Nurbaeti dkk., 2018).

Karbonisasi sampel limbah kulit pinang pada penelitian ini diberikan perlakuan berupa variasi temperatur dan waktu untuk memperoleh informasi karbon dengan kualitas terbaik pada saat dilakukan tahapan produksi. Kualitas karbon terbaik dianalisis melalui uji fisikokimia yang meliputi uji randemen, uji kadar air dan kadar abu. Karbon yang memiliki kualitas paling baik pada penelitian ini ditunjukkan oleh nilai kadar abu yang paling rendah.

Nilai kadar abu yang rendah memberikan informasi bahwa kandungan oksida-oksida logam dan mineral yang menutupi pori-pori karbon menjadi lebih sedikit sehingga dapat meningkatkan daya serap terhadap adsorbat limbah tekstil metilen biru setelah diaktivasi nantinya. Adapun perlakuan optimasi karbonisasi sampel kulit pinang pada penelitian ini, yaitu penentuan temperatur dan waktu optimum karbonisasi.

C. Penentuan Temperatur dan Waktu Optimum Karbonisasi

Penentuan temperatur optimum karbonisasi pada penelitian ini dilakukan dengan cara memvariasikan temperatur karbonisasi, yaitu pada temperatur 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C dan 500 °C selama 3 jam untuk memperoleh temperatur optimumnya. Pemilihan variasi tersebut dikarenakan dekomposisi senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin dari kulit pinang terjadi pada rentang suhu 200-420 sehingga mampu menghasilkan kuantitas karbon yang banyak (Zhu dkk.,

2019). Penentuan waktu optimum karbonisasi pada tahapan dilakukan dengan cara memvariasikan waktu karbonisasi 2, 2,5, 3, 3,5 dan 4 jam yang dilakukan pada temperatur optimum karbonisasi pada tahapan sebelumnya, yaitu 500 °C. Penentuan waktu optimum karbonisasi pada tahapan ini juga dilakukan berdasarkan hasil kadar abu yang paling rendah yang diperoleh berdasarkan hasil analisis fisikokimia karbon. Hasil pengujian fisikokimia pada optimasi temperatur karbon dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi analisis fisikokimia optimasi temperatur karbonisasi selama 3 jam

No.	Temperatur Karbonisasi (° C)	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
1.	300	32,6	2,0	32,4
2.	350	30,4	1,0	29,6
3.	400	28	2,0	28,1
4.	450	25,6	2,0	22,9
5.	500	25,6	2,0	20,4

Penentuan waktu optimum karbonisasi pada tahapan dilakukan dengan cara memvariasikan waktu karbonisasi 2, 2,5, 3, 3,5 dan 4 jam yang dilakukan pada temperatur optimum karbonisasi pada tahapan sebelumnya, yaitu 500 °C. Penentuan waktu optimum karbonisasi pada tahapan ini juga dilakukan berdasarkan hasil kadar abu yang paling rendah yang diperoleh berdasarkan hasil analisis fisikokimia karbon. Hasil rekapitulasi analisis fisikokimia pada tahap optimasi waktu karbon dapat dilihat pada Tabel 4.2.

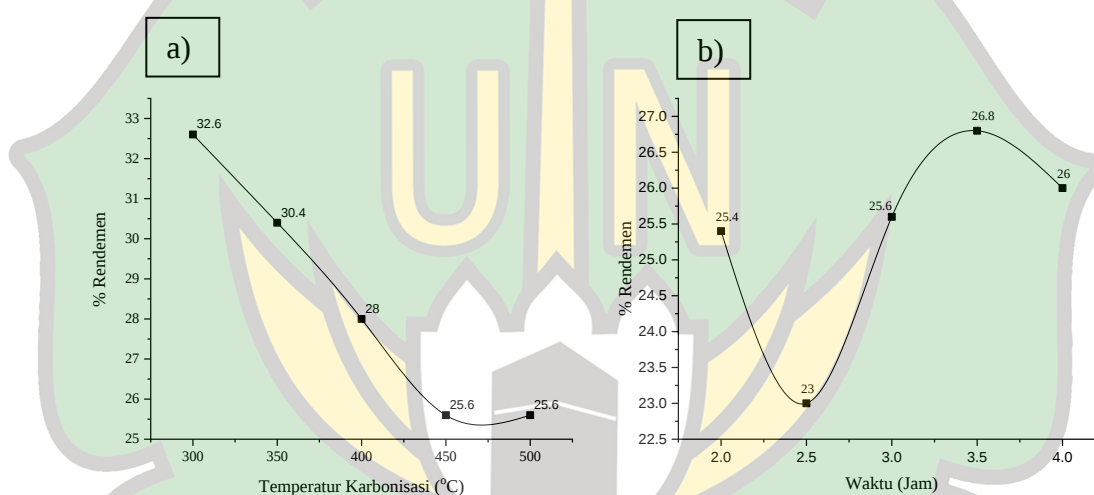
Tabel 4.2 Rekapitulasi uji fisikokimia pada waktu karbonisasi pada suhu 500 °C

No.	Waktu (Jam)	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
1.	2,0	25,4	3,0	32,8
2.	2,5	23	1,0	29,9
3.	3,0	20,6	2,0	20,4
4.	3,5	26,8	1,0	12,1

No.	Waktu (Jam)	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
5.	4,0	26	1,0	7,2

1. Rendemen

Penentuan rendemen karbon pada tahap optimasi temperatur karbon ini bertujuan untuk memperoleh informasi hubungan variasi temperatur karbonisasi terhadap kuantitas produk karbon yang dihasilkan yang sesudah melewati proses karbonisasi. Hubungan variasi temperatur karbonisasi terhadap rendemen yang dihasilkan pada sampel kulit pinang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kadar rendemen terhadap a) temperatur karbonisasi b) waktu karbonisasi

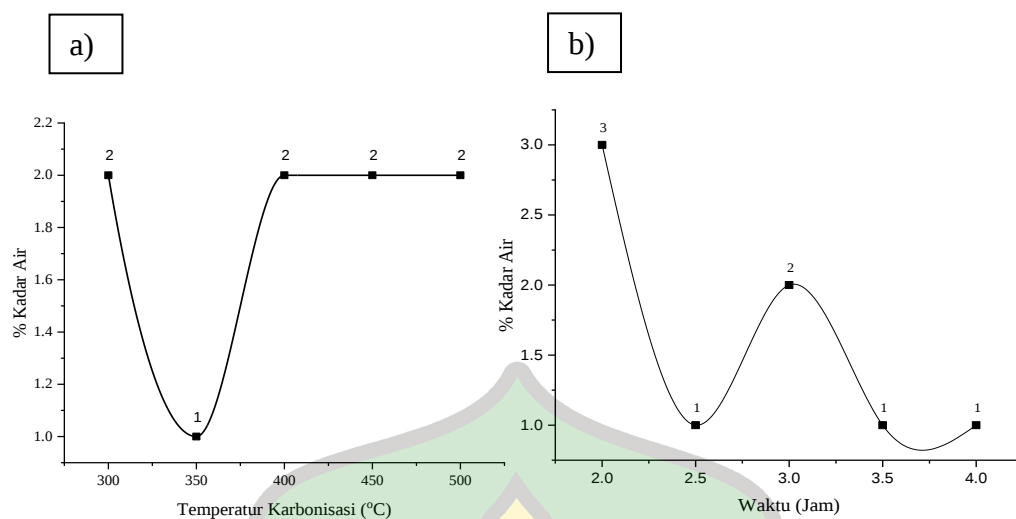
Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diperoleh informasi seiring kenaikan temperatur karbonisasi, kadar rendemen yang dihasilkan pada penelitian ini juga semakin menurun. Kadar rendemen tertinggi diperoleh pada temperatur 300 °C selama 3 jam, yaitu sebesar 32,6% dan terendah pada temperatur 500 °C selama 2,5 jam sebesar 23%. Tingginya rendemen yang dihasilkan pada temperatur 300 °C disebabkan oleh dekomposisi senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin belum

optimal sehingga masih terdapat serat-serat yang belum sepenuhnya terkarbonisasi (Ramadhani dkk., 2020). Namun, seiring kenaikan temperatur, kadar rendemen justru mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh pelepasan gas yang mudah terbakar berupa CO, H₂ dan gas tidak mudah terbakar berupa H₂O dan CO₂ pada saat karbonisasi temperatur tinggi sehingga menurunkan kadar rendemen yang dihasilkan, tetapi menghasilkan karbon yang lebih murni karena terbebas dari residu akibat karbonisasi suhu tinggi tersebut (Ridhayanti & Rusmini, 2020).

Berdasarkan pengujian dari optimasi waktu dan temperatur karbonisasi menunjukkan bahwa waktu dan temperatur sangat berpengaruh terhadap tinggi dan rendahnya kadar rendemen yang dihasilkan. Apabila semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka semakin sempurna hasil arang yang diperoleh, tetapi semakin sedikit rendemen yang diperoleh. Kenaikan waktu temperatur menyebabkan reaksi dekomposisi senyawa organik akan semakin sempurna sehingga kadar rendemen akan turun juga (Ramadhani dkk., 2020).

2. Kadar Air

Tujuan analisa kadar air ini adalah untuk memperoleh informasi terhadap kandungan air yang masih terperangkap pada permukaan dan pori-pori karbon yang sudah melewati proses karbonisasi. Selain itu, kadar air juga menunjukkan sifat higroskopis dari karbon. Sifat higroskopis karbon ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu lamanya terpapar oleh uap air di udara, lama penimbangan karbon, pengayakan serta penghalusan dan lamanya proses pendinginan (Oko dkk., 2021). Hubungan variasi temperatur dan waktu karbonisasi terhadap kadar air pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kurva hubungan kadar air terhadap a) temperatur karbonisasi b) waktu karbonisasi

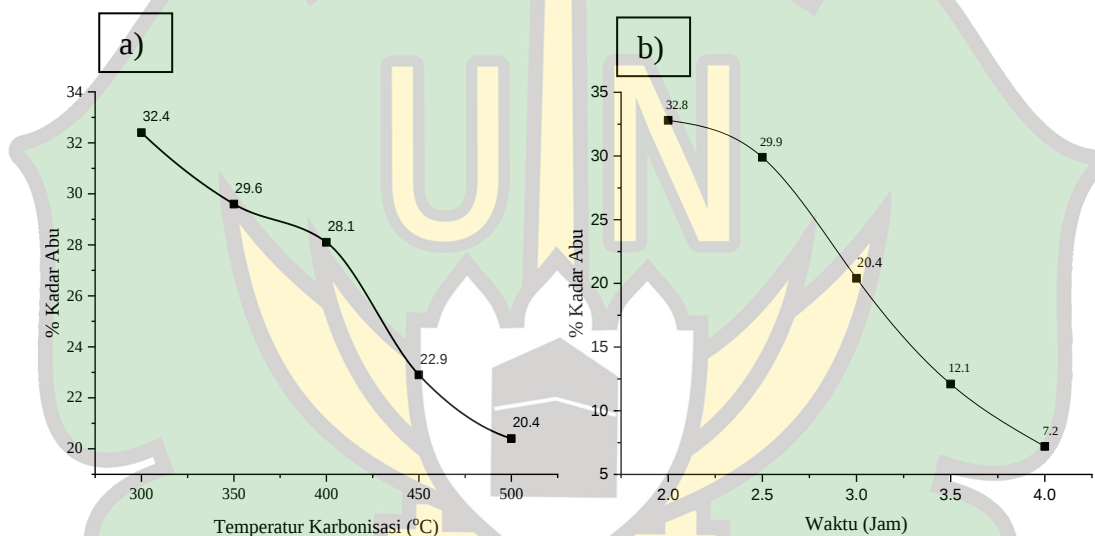
Berdasarkan Gambar 4.4 diperoleh informasi bahwa kadar air pada karbon setelah karbonisasi hanya berkisar 1-3% dan secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan standar SNI No. 06-3730-1995, yaitu kurang dari 15%. Peningkatan kadar air pada temperatur karbonisasi 400-500 °C selama 3 jam menjadi 2% dan pada temperatur 500 °C selama 3 jam menjadi 2% menunjukkan bahwa karbon sudah mulai bersifat higroskopis sehingga menyerap molekul air di udara sekitarnya pada saat dilakukan proses penimbangan (Hasibuan & Pardede, 2023).

Rendahnya kandungan kadar air yang diperoleh pada Gambar 4.4 disebabkan oleh tingginya suhu dan lamanya proses karbonisasi yang dilakukan. Molekul air yang terdapat pada area permukaan maupun pori-pori karbon berhasil teruapkan dan terlepas ke dalam fasa gas akibat kenaikan temperatur dan lamanya karbonisasi (Utami & Novallyan, 2019). Apabila semakin tinggi temperatur dan lamanya karbonisasi akan menyebabkan kadar air yang semakin renhah. Kadar air yang dihasilkan penelitian ini sesuai dengan penelitian Oko dkk., (2021) bahwa

tingginya temperatur dan lamanya karbonisasi akan menghasilkan kadar air yang rendah.

3. Kadar Abu

Penentuan kadar abu pada tahapan ini bertujuan untuk mengetahui sisa kandungan oksida logam atau senyawa anorganik yang masih terperangkap dan menempel pada pori-pori karbon sesudah proses karbonisasi suhu tinggi (Ernawati dkk., 2021). Hubungan variasi temperatur karbonisasi terhadap kadar abu pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva hubungan kadar abu terhadap a) temperatur karbonisasi b) waktu karbonisasi

Berdasarkan Gambar 4.5 diperoleh informasi bahwa semakin tinggi temperatur dan waktu karbonisasi maka kadar abunya menjadi semakin rendah. Kadar abu tertinggi diperoleh pada temperatur 300 °C selama 3 jam sebesar 32,4% dan terendah pada temperatur 500 °C selama 4 jam sebesar 7,2%. Kadar abu ini merupakan sisa oksida logam dan senyawa anorganik residu dari hasil karbonisasi yang menempati pori-pori karbon. Menurut Huda dkk., (2020) kadar abu yang

tinggi ini disebabkan oleh sisa keberadaan oksida logam dan senyawa anorganik yang teroksidasi pada suhu tinggi sehingga membentuk endapan abu yang menutupi pori-pori karbon.

Berdasarkan informasi pada Gambar 4.5, maka temperatur dan waktu optimum karbonisasi, yaitu terdapat pada temperatur 500 °C selama 4 jam sebesar 7,2% dan telah memenuhi standar SNI No. 06-3730-1995, yaitu kurang dari 10% (M. S. B. Batu dkk., 2022). Nilai kadar abu ini menjadi pertimbangan utama dalam penentuan waktu karbonisasi yang optimum. Hal ini dikarenakan, apabila semakin banyak oksida logam maupun senyawa anorganik yang bersifat sukar diuapkan (*nonvolatil matter*) masih terperangkap pada permukaan dan pori-pori karbon, maka mengurangi kemampuan daya serap adsorben (Pane & Hamzah, 2018). Oleh sebab itu, semakin sedikit kadar abu maka semakin bersih pori-pori karbon sehingga akan meningkatkan daya serap dari adsorben.

D. Aktivasi Karbon Kulit Pinang (*Arecha catechu L.*)

Aktivasi karbon aktif merupakan tahapan untuk membersihkan karbon dari zat pengotor seperti mineral, oksida dan senyawa organik masih yang bersisa setelah melewati proses karbonisasi (Cintia dkk., 2022). Zat pengotor ini menyumbat pori-pori karbon sehingga akan mengurangi daya adsorpsi (Cintia dkk., 2022). Oleh sebab itu, keberadaan zat pengotor ini perlu dihilangkan untuk meningkatkan daya serap terhadap karbon aktif melalui proses aktivasi.

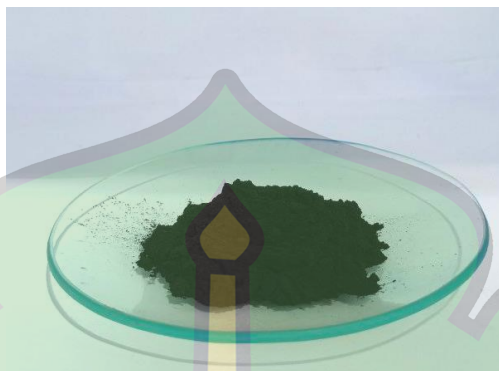
Namun, sebelum dilakukannya proses aktivasi, karbon pada penelitian ini akan dilakukan pembilasan terlebih dahulu menggunakan larutan aseton (C_3H_6O) dengan menggunakan metode sokletasi. Pembilasan karbon dari sampel limbah

kulit pinang dengan menggunakan larutan aseton dilakukan sebanyak 5 siklus pada temperatur titik didih aseton, yaitu 56°C. Pembilasan menggunakan larutan aseton juga termasuk ke dalam aktivasi kimiawi yang mampu mencegah terjadinya oksidasi karbon yang lebih lanjut (Yuliusman dkk., 2019). Aseton yang berinteraksi dengan simplisia yang berisi karbon akan menarik zat pengotor sisa karbonisasi yang bersifat polar maupun nonpolar karena aseton memiliki sifat yang semi polar (Verdiana dkk., 2018). Karbon yang sudah terbebas dari zat pengotor pada tahap pembilasan ini, kemudian dilanjutkan dengan aktivasi menggunakan larutan asam klorida (HCl) 0,5 M.

Aktivasi karbon menggunakan larutan HCl 0,5 M dilakukan dengan cara perendaman selama 24 jam. Aktivator HCl bersifat *miscible* dan higroskopik yang dapat dengan mudah homogen dengan air dengan semua perbandingan sehingga mampu melarutkan residu-residu oksida logam dan senyawa anorganik yang menyumbat pori-pori karbon (Oko dkk., 2021). Perendaman dengan larutan HCl memiliki beberapa keuntungan diantaranya, yaitu menghalangi pembentukan tar lanjutan, menghidrasi molekul air yang menempati pori-pori karbon, mendekomposisi senyawa organik sisa hasil karbonisasi dan melindungi kerusakan pada permukaan karbon akibat oksida lanjut (Verayana dkk., 2018).

Karbon aktif hasil perendaman, kemudian dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat dengan karbon aktifnya. Selanjutnya, karbon aktif dinetralkan menggunakan aqua DM hingga pH 6. Penetralkan dilakukan untuk menghilangkan ion Cl^- yang menempati pori-pori karbon aktif akibat proses aktivasi menggunakan larutan HCl. Apabila filtratnya sudah netral, maka karbon aktif dipanaskan pada

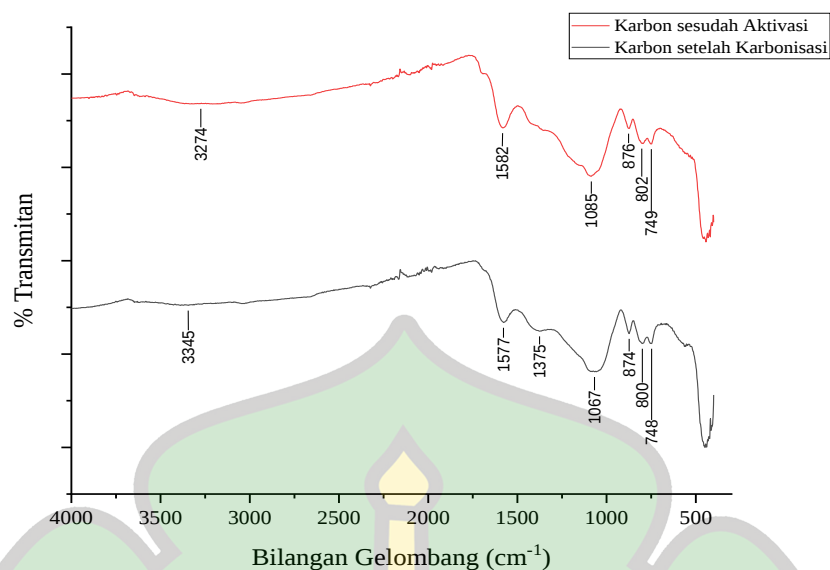
suhu 105°C selama 4 jam untuk menghilangkan molekul air pada pori-pori karbon akibat penetralan dan disimpan di dalam desikator hingga suhunya konstan (Verayana dkk., 2018). Hasil sintesis karbon aktif dari limbah kulit dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Karbon aktif kulit pinang

E. Karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Karbon Kulit Pinang (*Arecha catechu L.*)

Karakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) pada karbon kulit pinang bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang khas pada area permukaan karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi. Analisis gugus fungsi pada penelitian hanya difokuskan pada dua area spektra, yaitu pada area bilangan gelombang yang tinggi (2300-3400 cm^{-1}) dan area bilangan gelombang yang rendah (600-1800 cm^{-1}) (Bardhan dkk., 2020). Berdasarkan puncak serapan yang terdapat pada Gambar 4.7, maka dapat diperoleh informasi terkait bilangan gelombang dari beberapa puncak serapan yang dihasilkan oleh gugus-gugus fungsional khas pada permukaan karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi. Hasil analisis gugus fungsional yang khas pada permukaan karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi dapat dilihat Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Spektra FTIR karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi

Hasil analisis gugus-gugus fungsional yang khas pada karbon kulit pinang setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Gugus fungsional khas pada karbon setelah karbonisasi dan sesudah aktivasi

Daerah Serapan	Puncak Serapan Karbon sebelum Karbonisasi	Puncak Serapan Karbon Aktivasi HCl 0,5 M	Gugus Fungsi	Keterangan
3650-3200 cm^{-1}	3345 cm^{-1}	3274 cm^{-1}	-OH	-OH <i>stretching</i> lemah dari alkohol dan fenol
1620-1440 cm^{-1}	1577 cm^{-1}	1582 cm^{-1}	C=C	C=C <i>Stretching</i> dari cincin aromatik alkana
1260-1375 cm^{-1}	1375 cm^{-1}	-	-CH	-CH <i>bending</i> pada alkana
1300-1000 cm^{-1}	1067 cm^{-1}	1085 cm^{-1}	C-O	C-O <i>stretching</i> pada alkohol, asam karboksilat dan ester

Daerah Serapan	Puncak Serapan Karbon sebelum Karbonisasi	Puncak Serapan Karbon Aktivasi HCl 0,5 M	Gugus Fungsi	Keterangan
995-685 cm^{-1}	874 cm^{-1}	876 cm^{-1}	=CH	=CH <i>bending</i> alkana
900-680 cm^{-1}	800 cm^{-1}	802 cm^{-1}	-CH	-CH <i>bending</i> dari cincin aromatik
	748 cm^{-1}	749 cm^{-1}	-CH	

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan beberapa pita serapan yang mengindikasikan adanya gugus fungsional, seperti gugus fungsi –OH alkohol dan fenol, C=C cincin aromatik alkana, -CH alkana, C-O alkohol, asam karboksilat dan ester, =CH alkana dan -CH cincin aromatik. Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa pada identifikasi gugus fungsi pada rentang bilangan gelombang 3650-3200 cm^{-1} merupakan gugus –OH *stretching* berikatan antarmolekul dari alkohol dan fenol yang terdapat pada permukaan adsorben (Utami & Novallyan, 2019). Identifikasi gugus fungsi –OH karbon sebelum karbonisasi terdapat pada bilangan gelombang 3345 cm^{-1} , sedangkan pada karbon aktif terjadi pergeseran bilangan gelombang, yaitu menjadi 3274 cm^{-1} . Namun, intensitas vibrasi dari gugus –OH hampir menghilang pada spektrum karena tingginya temperatur karbonisasi yang dilakukan (S. Joshi dkk., 2021).

Rentang bilangan gelombang 1620-1440 cm^{-1} berhasil teridentifikasi sebagai gugus fungsi C=C *stretching* (Mohrig dkk., 2010). Identifikasi gugus fungsi C=C *stretching* pada karbon sebelum karbonisasi terdapat pada bilangan gelombang 1577 cm^{-1} , sedangkan pada karbon aktif mengalami pergeseran bilangan gelombang menjadi 1562 cm^{-1} . Menurut Fauzi & Utami (2018) gugus

fungsi C=C aromatik tersebut berasal dari cincin aromatik alkana. Daerah serapan 1260-1375 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi -CH *bending* alkana dari senyawa hidrokarbon pada bilangan gelombang 1375 cm^{-1} pada karbon sebelum karbonisasi (Astari & Utami, 2018). Namun, gugus fungsi -CH *bending* alkana dari senyawa hidrokarbon menjadi hilang setelah karbon diaktivasi. Gugus fungsi -CH *bending* alkana yang hilang ini diduga kuat berasal dari senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin yang masih tersisa akibat proses karbonisasi (Venugopal & Gopalakrishnan, 2019).

Identifikasi gugus fungsi C-O pada rentang bilangan gelombang 1300-1000 cm^{-1} dari alkohol, asam karboksilat dan ester pada karbon sebelum karbonisasi teridentifikasi pada bilangan gelombang 1067 cm^{-1} , sedangkan pada karbon aktif mengalami pergeseran yang cukup signifikan menjadi 1085 cm^{-1} . Kemudian, hasil identifikasi gugus fungsi =CH *bending* dari alkana pada rentang bilangan gelombang 995-685 cm^{-1} menyerupai penelitian yang dilakukan oleh Bardhan dkk., (2020), yaitu pada gugus fungsi =CH *bending* alkana dari karbon sebelum karbonisasi teridentifikasi pada bilangan gelombang 874 cm^{-1} , sedangkan pada karbon aktif berhasil teridentifikasi pada pergeseran bilangan gelombang 876 cm^{-1} . Kemudian, pada rentang bilangan gelombang 900–680 cm^{-1} muncul dua puncak dengan intensitas yang mirip dan terindikasi sebagai gugus fungsi dari -CH dari cincin aromatik. Hasil identifikasi gugus fungsi dari -CH dari cincin aromatik terdapat pada bilangan gelombang 800 cm^{-1} dan 748 cm^{-1} , sedangkan pada karbon aktif teridentifikasi pada bilangan gelombang 802 cm^{-1} dan 749 cm^{-1} yang mengalami pergeseran bilangan gelombang yang tidak signifikan.

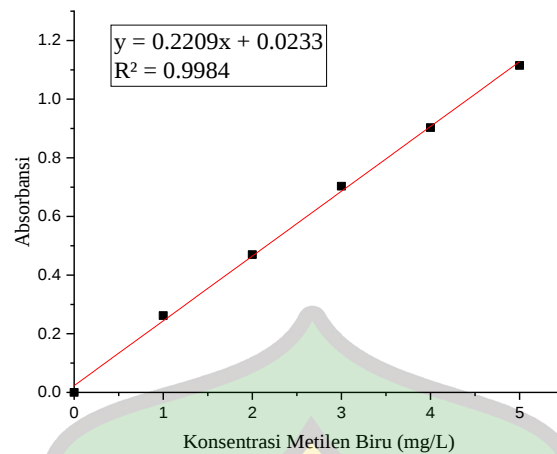
Berdasarkan pergeseran bilangan gelombang pada Gambar 4.7 menurut Wati dkk., (2021), aktivasi pada karbon aktif kulit pinang telah berhasil dilakukan karena terjadinya pergeseran bilangan gelombang pada adsorben yang diakibatkan oleh terbukanya pori-pori karbon akibat hilangnya zat pengotor yang menutupi pori-pori karbon. Pergeseran bilangan gelombang yang paling signifikan terutama terjadi pada gugus fungsi *-OH stretching* dari alkohol dan fenol, *C=C stretching* dari senyawa aromatik dan *C-O stretching* pada alkohol, asam karboksilat dan ester. Hal ini terjadi karena hilangnya gugus fungsi *-CH bending* alkana dari senyawa hidrokarbon sehingga intensitas vibrasi pada gugus fungsi lainnya menjadi semakin terlihat karena mengalami proses pergeseran bilangan gelombang yang cukup signifikan.

F. Daya Serap Karbon Aktif Kulit Pinang (*Arecha catechu L.*)

1. Kurva kalibrasi larutan standar metilen biru

Pembuatan kurva kalibrasi larutan standar metilen biru dilakukan dengan memvariasikan larutan metilen biru pada konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm serta diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 664 nm (Khudhair dkk., 2020). Kurva kalibrasi yang telah diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.8.

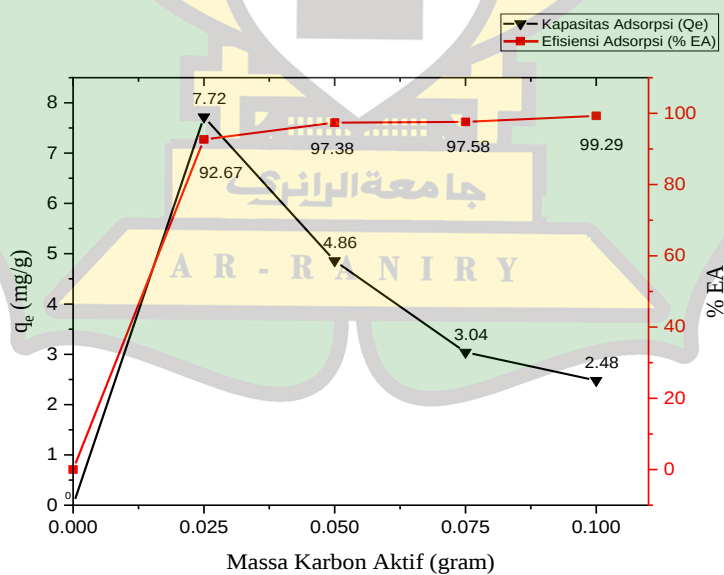
Kurva kalibrasi yang diperoleh pada Gambar 4.8 memiliki koefisien determinasi sangat bagus (R^2), yaitu 0,9984. Syarat kurva kalibrasi standar, yaitu nilai R^2 harus berada di rentang $0,9 < R^2 < 1$ (Fitriansyah dkk., 2021). Kurva kalibrasi standar larutan metilen biru ini akan digunakan untuk penentuan dosis, konsentrasi dan waktu optimum karbon aktif.



Gambar 4.8 Kurva kalibrasi standar larutan metilen biru

2. Dosis optimum dan persen efisiensi adsorpsi (%EA)

Penentuan dosis karbon aktif optimum dilakukan dengan memvariasikan karbon aktif dari kulit pinang pada rentang massa 0,025-1,000 gram untuk menyerap metilen biru 10 ppm selama waktu kontak 30 menit dan pengadukan 150 rpm. Hasil pengujian pengaruh dosis karbon aktif terhadap kapasitas adsorpsi (q_e) dan efisiensi adsorpsi (%EA) dapat ditunjukkan oleh Gambar 4.9.



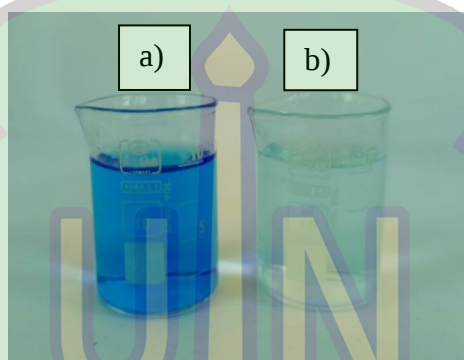
Gambar 4.9 Kurva pengaruh dosis karbon aktif

Gambar 4.9 menunjukkan informasi bahwa bahwa semakin besar dosis karbon aktif yang digunakan, maka akan meningkatkan efisiensi adsorpsi oleh karbon aktif terhadap metilen biru. Peningkatan adsorpsi terjadi pada rentang dosis 0,025-0,50 gram dengan peningkatan efisiensi adsorpsi sebesar 92,67-97,38%. Peningkatan efisien adsorpsi disebabkan oleh penambahan dosis karbon aktif, maka akan meningkatkan luas permukaan karbon aktif sehingga ketersediaan situs aktif pada pori-pori karbon aktif menjadi semakin banyak (Sukla Baidya & Kumar, 2021). Efisien adsorpsi pada penambahan dosis 0,50-0,10 gram, cenderung relatif konstan sebesar 97,38-99.29% dengan kenaikan efisien adsorpsi yang tidak terlalu signifikan. Menurut Indah dkk., (2022) bahwa hal ini terjadi karena karbon aktif telah mengadsorpsi metilen biru secara maksimal sehingga permukaan pori-pori karbon aktif telah tertutup secara keseluruhan oleh metilen biru.

Berdasarkan Gambar 4.9 juga diperoleh informasi bahwa seiring meningkatnya dosis karbon aktif akan membuat kapasitas adsorpsi menjadi semakin rendah, yaitu dari 7,72-2,48 mg/g. Hal ini disebabkan semakin luasnya permukaan karbon aktif maka menyebabkan banyaknya pori-pori karbon aktif yang tersedia untuk mengadsorpsi metilen biru (Yang dkk., 2018). Oleh sebab itu, ketidakcukupan jumlah adsorbat molekul metilen biru untuk sepenuhnya terjerap pada unit pori-pori karbon aktif akan membuat kapasitas adsorpsinya menjadi semakin rendah (Sintakindi & Ankamwar, 2020).

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Gambar 4.9, maka penggunaan dosis optimum karbon aktif yang terdapat pada tahapan ini, yaitu pada dosis 0,05 gram. Pemilihan dosis tersebut melalui pertimbangan bahwa pada dosis yang lebih

rendah mampu menghasilkan efisiensi adsorpsi metilen biru yang tergolong sangat tinggi dan relatif konstan sebesar 97,38% dengan kapasitas adsorpsi yang juga masih tergolong besar serta relatif konstan, yaitu 4,86 mg/g. Dosis optimum yang telah diperoleh ini akan digunakan untuk pengujian daya serap pada tahapan selanjutnya. Perbandingan warna metilen biru sebelum dan sesudah adsorpsi pada dosis optimum 0,05 gram dapat dilihat pada Gambar 4.10.

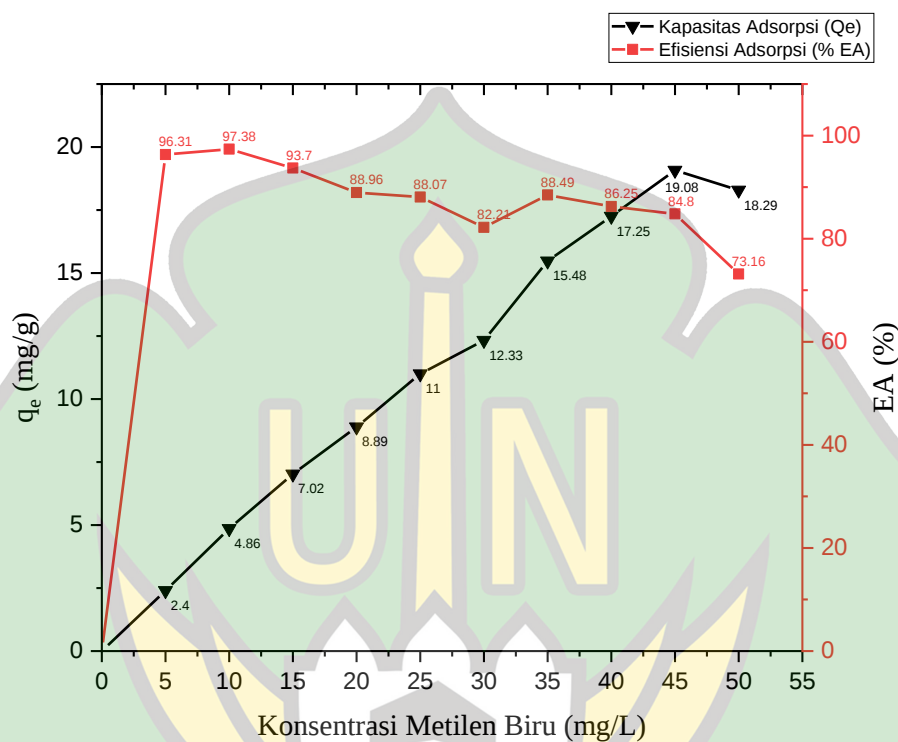


Gambar 4.10 Perbandingan warna a) Larutan metilen biru 10 ppm b) Filtrat hasil adsorpsi pada dosis optimum 0,05 gram (Sumber: Dokumentasi penelitian)

3. Konsentrasi optimum dan persen efisiensi adsorpsi (%EA)

Konsentrasi dari cemaran metilen biru di dalam air sangat bervariasi. Oleh sebab itu, pada tahapan ini perlu dilakukan penentuan konsentrasi optimum yang mampu diserap oleh adsorben karbon aktif karena kandungan konsentrasi metilen biru juga sangat mempengaruhi kemampuan daya adsorpsi maupun kapasitas adsorpsi dari karbon aktif, baik itu dari segi peningkatan maupun pengurangan ketersediaan situs aktif pada pori-pori karbon untuk mengadsorpsi metilen biru. Penentuan konsentrasi optimum dari metilen biru pada tahap ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi metilen biru pada rentang 5-50 ppm terhadap dosis

optimum 0,05 gram, waktu kontak selama 30 menit dan pengadukan pada 150 rpm. Hasil pengujian pengaruh konsentrasi metilen biru terhadap kapasitas adsorpsi (Q_e) dan efisiensi adsorpsi (%EA) dapat ditunjukkan oleh Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kurva pengaruh konsentrasi metilen biru

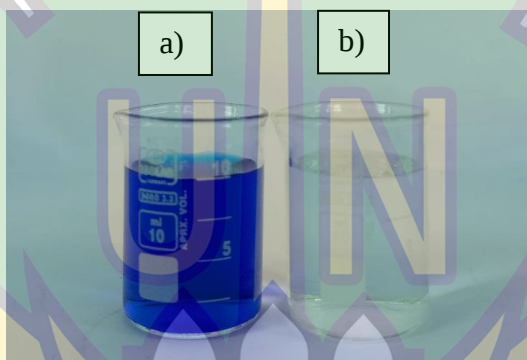
Variasi konsentrasi mempengaruhi fenomena terhadap adsorpsi, baik itu peningkatan maupun pengurangan efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi seperti yang terlihat pada Gambar 4.11. Selain itu, pada Gambar 4.11 juga menunjukkan pada rentang konsentrasi awal 5-10 ppm terjadi peningkatan efisiensi adsorpsi sebesar 96,31-97,38%. Peningkatan efisien terjadi karena situs aktif pada karbon aktif masih belum terisi penuh oleh molekul metilen biru sehingga adsorpsi masih terus berlangsung hingga konsentrasi 10 ppm (Wati dkk., 2021).

Namun, seiring kenaikan konsentrasi pada rentang 10-30 ppm terjadi penurunan efisiensi adsorpsi dari 93,7-82,21% yang disebabkan oleh pori-pori karbon aktif yang terus mengalami kejenuhan akibat bertambahnya konsentrasi metilen biru (Joshi dkk., 2021). Efisien adsorpsi metilen biru mulai relatif konstan terjadi pada rentang konsentrasi 35-45 ppm dengan perubahan efisien penyerapan yang tidak terlalu signifikan sebesar 88,49-84,80% karena pori-pori pada karbon aktif secara keseluruhan telah terisi oleh adsorbat metilen biru sehingga perubahan efisiensi adsorpsi tidak terlalu signifikan. Penurunan efisiensi secara signifikan kembali terjadi pada konsentrasi 50 ppm sebesar 73,16%. Hal ini dikarenakan adanya ketidakstabilan pada situs aktif pada pori-pori karbon yang terus mengalami interaksi dengan adsorbat sehingga ion metilen biru yang terperangkap pada pori-pori karbon kembali terlepas kembali ke dalam larutannya (Anugrahwati dkk., 2021).

Berdasarkan Gambar 4.11 juga diperoleh informasi bahwa semakin tingginya konsentrasi metilen biru, maka akan meningkatkan kapasitas adsorpsi karena semakin banyak molekul metilen biru yang terperangkap pada pori-pori karbon aktif. Peningkatan adsorpsi terjadi pada rentang konsentrasi metilen biru 5-45 ppm sebesar 2,4-19,08 mg/g. Peningkatan kapasitas adsorpsi terjadi karena semakin meningkatnya molekul metilen biru yang terperangkap pada unit sisi aktif pori-pori karbon aktif (Dwi dkk., 2021). Namun, terjadi fenomena penurunan kapasitas adsorpsi pada konsentrasi 50 ppm menjadi 18,29 mg/g. Hal ini disebabkan pori-pori karbon aktif sudah sangat jenuh yang menyebabkan pori-pori karbon aktif menyusut dikarenakan peningkatan jumlah adsorbat metilen biru. Oleh sebab itu,

metilen biru yang terperangkap pada pori-pori karbon aktif akan terlepas kembali pada larutannya atau mengalami proses desorpsi (Nurbaeti dkk., 2018).

Berdasarkan data yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11, maka konsentrasi optimum yang diperoleh pada tahapan ini, yaitu pada konsentrasi 40 ppm. Pemilihan pada konsentrasi 40 ppm dikarenakan nilai q_e yang dihasilkan tergolong tinggi serta konstan, yaitu 17,25 mg/g dan juga %EA yang dihasilkan tergolong tinggi serta relatif konstan, yaitu 86,25%. Perbandingan warna metilen biru sebelum dan sesudah adsorpsi pada konsentrasi optimum dapat dilihat pada Gambar 4.12.

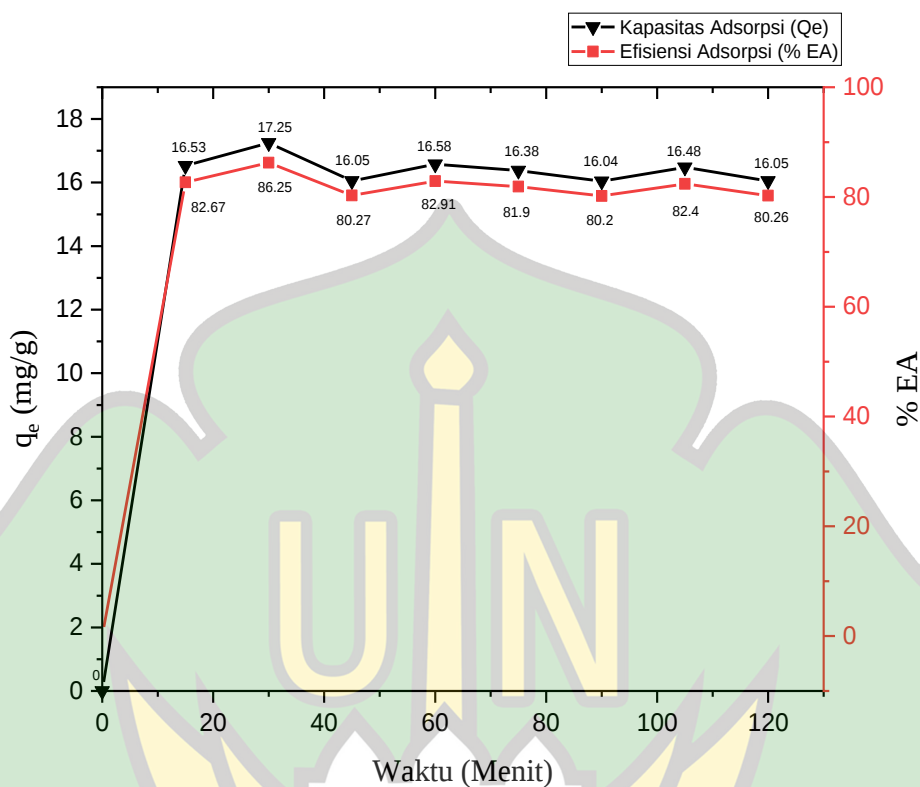


Gambar 4.12 Perbandingan warna a) Larutan metilen biru 40 ppm b) Filtrat hasil adsorpsi pada konsentrasi optimum 40 ppm (Sumber: Dokumentasi penelitian)

4. Waktu kontak optimum dan persen efisiensi adsorpsi (%EA)

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan bertujuan untuk mempelajari dinamika perubahan yang ditimbulkan oleh lamanya interaksi molekul adsorbat terhadap situs aktif pada pori-pori karbon aktif. Penentuan waktu kontak optimum berdasarkan efisiensi adsorpsi yang tinggi. Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan memvariasikan waktu pada rentang 15-120 menit dengan selang waktu 15 menit. Dosis karbon aktif yang digunakan, yaitu berdasarkan dosis optimum 0,05 gram dan konsentrasi optimum 40 ppm yang telah diperoleh pada

tahapan sebelumnya. Hasil pengujian pengaruh lamanya waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi (q_e) dan efisiensi adsorpsi (%EA) ditunjukkan oleh Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Kurva pengaruh waktu kontak metilen biru

Berdasarkan Gambar 4.13, dapat diperoleh informasi bahwa kenaikan dan penurunan variasi waktu kontak akan mempengaruhi efisiensi dan kapasitas adsorpsi dari karbon aktif. Proses adsorpsi berlangsung cepat pada efisiensi adsorpsi terjadi pada rentang 15-30 menit, yaitu sebesar 82,67-86,25% dan kapasitas adsorpsinya juga mengalami kenaikan sebesar 16,53-17,25 mg/g. Peningkatan efisiensi dan kapasitas adsorpsi disebabkan oleh semakin lamanya waktu kontak, maka semakin banyak interaksi antara adsorbat dengan situs aktif dari pori-pori karbon aktif. Lamanya interaksi yang ditimbulkan ini membuat molekul metilen biru dapat terjerap pada unit pori-pori karbon yang masih kosong

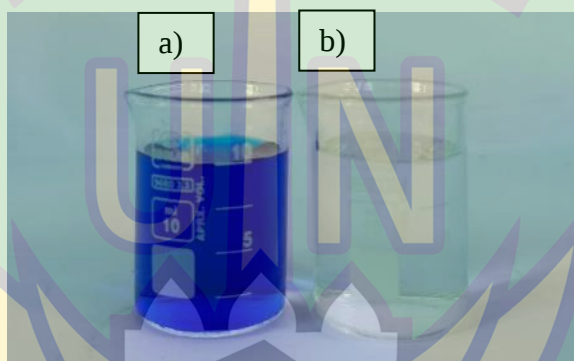
hingga mencapai kesetimbangan antara molekul metilen biru dengan pori-pori karbon aktif (Batu dkk., 2022). Semakin lama interaksi adsorbat dengan adsorben akan membuat laju reaksi akan semakin cepat untuk mencapai kesetimbangan sehingga sesuai dengan teori tumbukan (Wati dkk., 2021).

Namun, pada waktu 30-45 menit daya adsorpsi turun sebesar 86,25-80,27% dan juga diikuti penurunan kapasitas adsorpsi 17,25-16,05 mg/g. Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian Indah (2022) bahwa setelah adsorpsi melebihi waktu optimum maka akan terjadi penurunan efisiensi dan kapasitas adsorpsi seiring bertambahnya waktu. Lamanya interaksi tumbukan antar molekul metilen biru terhadap pori-pori karbon aktif yang setimbang menyebabkan proses desorpsi, yaitu terlepasnya kembali molekul metilen biru ke dalam larutannya sehingga membuat pori-pori karbon menyusut dan tidak bisa ditempati oleh molekul metilen biru lainnya (Wati dkk., 2021).

Kemudian, pada rentang waktu 60-120 menit efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi sudah mulai relatif konstan karena perubahan yang tidak terlalu signifikan pada rentang 82,91-80,26% dengan kapasitas adsorpsinya pada rentang 16,58-16,05 mg/g. Hal ini disebabkan oleh karbon aktif sudah jenuh sehingga tidak mampu lagi untuk mengadsorpsi zat warna metilen biru setelah melewati keadaan setimbang sehingga membuat laju adsorpsi berjalan menjadi lambat (Rizki dkk., 2019).

Berdasarkan data yang ditunjukkan oleh Gambar 4.13, waktu optimum yang diperoleh pada tahapan ini, yaitu terjadi pada waktu 30 menit. Pemilihan waktu tersebut melalui pertimbangan bahwa dengan menggunakan dosis rendah dan

waktu yang relatif singkat, karbon aktif mampu mengadsorpsi metilen biru dengan efisien yang tergolong tinggi sebesar 86,25%. Selain itu, kapasitas adsorpsi yang diperoleh juga tergolong sangat besar, yaitu 17,25 mg/g. Waktu optimum 30 menit juga menunjukkan bahwa karbon aktif sudah mampu mengadsorpsi metilen biru secara menyeluruh pada setiap unit pori-porinya sehingga antara interaksi antara adsorbat dengan adsorben telah mencapai kesetimbangan. Perbandingan warna metilen biru sebelum dan sesudah adsorpsi pada waktu kontak optimum dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Perbandingan warna a) Larutan metilen biru 40 ppm b) Filtrat hasil adsorpsi pada kontak optimum 30 menit

5. Kajian penelitian relevan

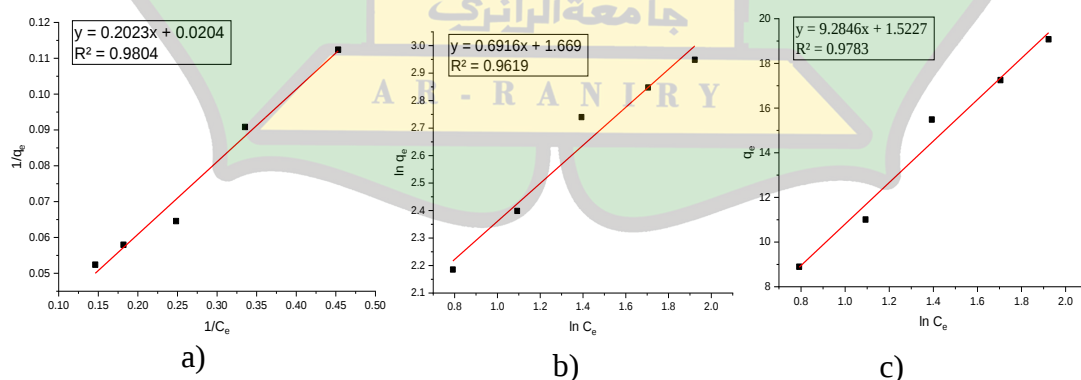
Kajian penelitian relevan dilakukan untuk membandingkan hasil yang terdapat pada penelitian ini dengan penelitian yang terdahulu berdasarkan adsorben yang sama, tetapi berbeda aktivator dan lamanya aktivasi karbon aktif. Beberapa hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.4 menunjukkan kinerja karbon aktif kulit pinang terhadap adsorpsi metilen biru masih tergolong baik dengan efisiensi adsorpsi sebesar 86,25%. Beberapa hasil kajian literatur terhadap efisiensi adsorpsi karbon aktif dari kulit pinang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan efisiensi adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif kulit pinang terdahulu

No.	Aktivator	Lama Aktivasi (Jam)	EA (%)	Referensi
1.	NaOH	1	97,77	(Cundari dkk., 2020)
2.	CO ₂	3	95,8	(Fitriansyah dkk., 2021)
3.	KOH	1,48	96,94	(Ismail dkk., 2020)
4.	NaOH	24	94%	(Tabassum dkk., 2020)
5.	HCl	0,5	98,98	(Cundari dkk., 2019)
6.	HCl	24	86,25	Penelitian ini

6. Model isotherm adsorpsi

Mekanisme interaksi antara adsorbat dan adsorben dapat diinterpretasikan melalui model isotherm adsorpsi dengan menggunakan parameter variasi konsentrasi. Model isotherm yang biasa digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi, yaitu model isotherm Langmuir, Freundlich dan Temkin. Penentuan model isotherm yang paling tepat, yaitu berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang mendekati 1 (Anggriani dkk., 2021). Hasil penentuan model isotherm adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Model isotherm adsorpsi a) Langmuir b) Freundlich c) Temkin

Berdasarkan Gambar 4.15, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2), *slope* dan *intercept* yang digunakan sebagai pertimbangan penentuan model kinetika paling tepat serta untuk menghitung parameter dari setiap model isotherm. Hasil penentuan parameter dari model isotherm Langmuir, Freundlich dan Temkin dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Parameter model isotherm dari adsorben aktif kulit pinang

Model isotherm	Parameter	Nilai	Keterangan
Langmuir	R^2	0,9804	$0 < 0,6433 < 1$, Adsorpsi berlangsung secara <i>favorable</i>
	$Q_{\max}$ (mg/g)	49,0196	
	K_L (L/mg)	0,1008	
	R_L	0,6433	
Freundlich	R^2	0,9619	$n > 1$, Adsorpsi berlangsung secara fisika
	K_F (mg/g)	5,3068	
	n	3,4293	
Temkin	R^2	0,9783	$B_T > 8$ kJ/mol, Adsorpsi berlangsung secara kimia
	B_T (J/mol)	1627,0913	
	A_T (L/g)	1,0057	

(Sumber: Ragadhita & Nandiyanto, 2021)

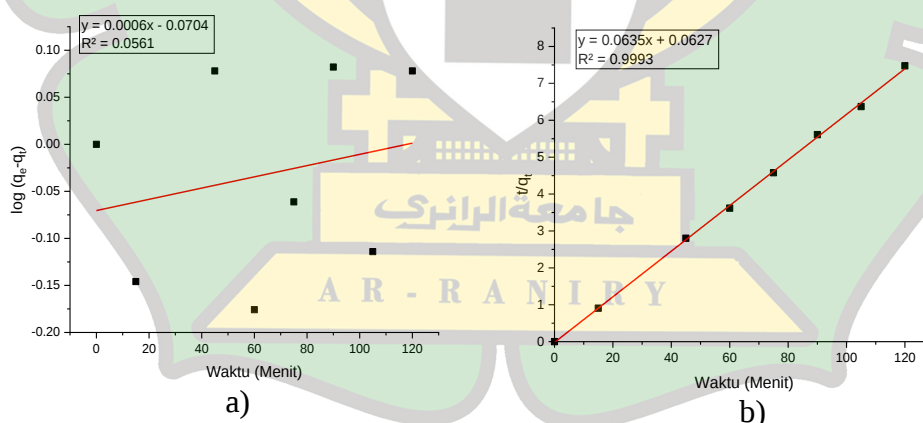
Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Gambar 4.15 dan Tabel 4.4, model adsorpsi yang paling tepat pada karbon aktif kulit pinang, yaitu model isotherm Langmuir dengan nilai $R^2 = 0,9804$ karena lebih mendekati angka 1 jika dibandingkan dengan model isotherm lainnya. Menurut Anggriani dkk., (2021) model isotherm Langmuir menggambarkan bahwa adsorpsi berlangsung secara kimisorpsi, yaitu terjadinya interaksi adsorbat dengan situs aktif pada permukaan adsorben berlangsung secara *irreversible* sehingga membentuk lapisan tunggal atau *monolayer*.

Berdasarkan Tabel 4.4 diperoleh parameter Langmuir $Q_{\max}$ sebesar 49,0196 mg/g, K_L sebesar 0,1008 L/mg dan R_L sebesar 0,6433. Menurut Sintakindi &

Ankamwar (2020) harga $Q_{\max}$ sebesar 49,0196 mg/g yang diperoleh tergolong sangat besar sehingga bagus untuk digunakan mengadsorpsi adsorbat metilen biru. Parameter K_L menunjukkan kekuatan interaksi antar adsorbat dengan situs aktif adsorben kulit pinang juga tergolong kuat, yaitu sebesar 0,1008 L/mg. Selain itu, parameter R_L yang diperoleh sebesar 0,6433, maka harga R_L diinterpretasikan sebagai $0 < 0,6433 < 1$ menunjukkan proses adsorpsi pada karbon aktif berlangsung berlangsung secara normal dan sangat baik (*favorable*) (Ragadhita & Nandiyanto, 2021).

7. Model Kinetika Reaksi

Model kinetika reaksi memberikan informasi terkait mekanisme laju adsorpsi yang terjadi pada adsorben. Penentuan kinetika reaksi ini berdasarkan parameter dari hasil variasi waktu kontak. Model kinetika reaksi yang digunakan, yaitu model kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Hasil penentuan model kinetika reaksi dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Model kinetika a) Pseudo orde satu b) Pseudo orde dua

Berdasarkan Gambar 4.16, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2), *slope* dan *intercept* yang digunakan sebagai pertimbangan penentuan model kinetika

paling tepat serta untuk menghitung parameter dari masing-masing model kinetika reaksi. Adapun hasil perhitungan parameter model kinetika reaksi pseudo orde satu dan dua dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.6 Parameter model kinetika reaksi adsorben aktif kulit pinang

Model Kinetika	Parameter	Nilai
Pseudo orde satu	R^2	0,05610
	q_e (mg/g)	0,85030
	K_1 (Lmin ⁻¹)	0,00002
Pseudo orde dua	R^2	0,99930
	q_e (mg/g)	15,74803
	K_2 (gram mg ⁻¹ min ⁻¹)	0,05871

Berdasarkan Gambar 4.16 dan Tabel 4.5, model kinetika reaksi yang paling tepat adalah model kinetika pseudo orde dua dengan $R^2 = 0,9993$ karena mendekati angka 1 jika dibandingkan dengan model kinetika pseudo orde satu (P. Joshi & Joshi, 2022). Model kinetika reaksi orde dua menjelaskan bahwa semakin lama waktu kontak, maka semakin meningkat nilai kapasitas adsorpsi dalam setiap menit.

Selain itu, data pada Tabel 4.5 menunjukkan harga konstanta laju adsorpsi pseudo orde dua (K_2) sebesar 0,05871 gram mg⁻¹min⁻¹ yang menunjukkan makna bahwa setiap 1 mg karbon aktif kulit pinang mampu mengadsorpsi metilen biru sebesar 0,05871 gram dalam setiap 1 menit. Semakin tinggi harga K_2 , maka semakin cepat kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi metilen biru (Baunsele & Missa, 2020).

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil telah diperoleh pada penelitian potensi limbah kulit pinang (*Arecha catechu L.*) sebagai karbon aktif untuk adsorpsi zat warna tekstil, dapat disimpulkan bahwa:

1. Temperatur dan waktu optimum karbonisasi kulit pinang, yaitu 500 °C selama 4 jam serta telah memenuhi persyaratan mutu produksi arang teknis No. 06-3730-1995 dengan kadar air 1,0% dan kadar abu 7,2%.
2. Daya serap optimum karbon aktif kulit pinang terhadap metilen biru terjadi pada dosis 0,05 gram, konsentrasi 40 ppm dan waktu kontak 30 menit menghasilkan %EA sebesar 86,25% dengan q_e sebesar 17,25 mg/g serta mengikuti model isotherm Langmuir dan model kinetika pseudo orde dua.

B. Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian potensi limbah kulit pinang (*Arecha catechu L.*) sebagai karbon aktif untuk adsorpsi zat warna tekstil, peneliti menyarankan beberapa hal berikut:

1. Peneliti mengharapkan adanya karakterisasi menggunakan instrumen SEM-EDX untuk melihat morfologi permukaan dan ukuran pori-pori pada karbon aktif kulit pinang.
2. Gunakanlah timbangan analitik yang terkalibrasi agar hasil yang diperoleh tidak menyimpang dari hasil yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarenga, G., Lima, J. P., Goszczynski, A. C. F., Rosa, C. H., Rosa, G. R., & Lopes, T. J. (2020). Methylene Blue Adsorption by Timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*)-Derived Materials. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(22), 27893–27903. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09113-4>
- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Anugrahwati, M., Awal, R., & Indah, F. (2021). Adsorpsi Pb (II) dari Air dengan Karbon Aktif dari Kulit Salak Pondoh: Kinetika dan Isoterm Adsorpsi. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 1–11.
- Ariyanto, E., Lestari, D. D., Kharismadewi, D., Kemampuan, A., Kinetika, D., Karbon, A., Dari, A., & Ketapang, C. (2021). Analisa Kemampuan dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dari Cangkang Ketapang Terhadap Zat Warna Metil Oranye. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol.*, 32(2), 166–178.
- Aryani, F., Mardiana, F., & Wartomo. (2019). Aplikasi Metode Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia pada Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L.). *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*, 1(2), 16–20.
- Asmar, D., Viena, V., & Elvitriana. (2021). Aktivasi Karbon Aktif dari Kulit Pisang Awak (*Musa paradisiaca* L.) secara Kimiawi dan Aplikasinya pada Adsorpsi Fe dan Mn Air Sumur. *Karya Ilmiah Fakultas Teknik (KIFT)*, 1(2), 36–45.
- Astari, M. A., & Utami, B. (2018). Uji Daya Adsorpsi Adsorben Kombinasi Sekam Padi dan Bagasse Fly Ash untuk Menjerap Logam Cu pada Sistem Batch. *Proceeding Biology Education Conference*, 15(1), 766–774.
- Astuti, W. (2018). Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa. In *Unnes Press* (1st ed.). UNNES PRESS.
- Atikah, N., Salim, A., Puteh, M. H., & Khamidun, M. H. (2021). Interpretation of Isotherm Models for Adsorption of Ammonium onto Granular Activated Carbon. *Biointerface Research*, 11(2), 9227–9241.
- Aulia, M., Mahmud, & Mu'min, B. (2021). Studi Isoterm dan Kinetika Adsorpsi COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada Air Sungai terhadap Karbon Aktif Kayu Ulin. *JTAM Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat*, 4(2), 24–36.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Aceh. (2021). Provinsi Aceh dalam Angka 2021. In M. Alimuddin (Ed.), *BPS Provinsi Aceh* (Issue 1). <https://aceh.bps.go.id/>
- Bardhan, M., Novera, T. M., Tabassum, M., Azharul Islam, M., Jawad, A. H., &

- Atikul Islam, M. (2020). Adsorption of Methylene Blue Onto Betel Nut Husk-Based Activated Carbon Prepared by Sodium Hydroxide Activation Process. *Water Science and Technology*, 82(9), 1932–1949. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.451>
- Batu, M. S. B., Naes, E., & Kolo, M. M. (2022). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Sabut Pinang Asal Pulau Timor sebagai Biosorben Logam Ca Dan Mg dalam Air Tanah. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(1), 21–25.
- Baunsele, A. B., & Missa, H. (2020). Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimia Indonesia*, 5(2), 76. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v5i2.7791>
- Borhan, A., Yusup, S., Lim, J. W., & Show, P. L. (2019). Characterization and Modelling Studies of Activated Carbon Produced from Rubber-Seed Shell Using. *Processes*, 7(855).
- Cintia, M., Juliasih, N. L. G. R., Herasari, D., Kiswandono, A. A., & Supriyanto, R. (2022). Studi Karbon Aktif Kayu Bakau (*Rhizophora mucronata*) sebagai Adsorben Pewarna Tekstil Biru Tua Kode 5 Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 7(1), 54. <https://doi.org/10.23960/aec.v7i1.2022.p54-67>
- Cogulet, A., Blanchet, P., & Landry, V. (2016). Wood Degradation Under UV Irradiation: A Lignin Characterization. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 158, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.02.030>
- Cundari, L., Saputra, E., Suranto, A., Yandriani, Y., & Rosalina, R. (2020). The Effect of Adsorbent Type and Ratio on Removal of Methylene Blue and Its Isotherm Adsorption. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 21(03), 115–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.17146/jsmi.2020.21.3.5900>
- Cundari, L., Sari, K. F., & Anggraini, L. (2018). Characteristic of Betel Nuts Activated Carbon and Its Application to Jumpitan Wastewater Treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 345(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/345/1/012041>
- Cundari, L., Utari, A. N., & Septikarini, M. (2019). Adsorption Capacity and Isotherm of Methylene Blue Removal in Aqueous Solution onto Regenerated Activated Carbon. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 543(1), 0–10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012088>
- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Danish, M., Parthasarthy, V., & Al Mesfer, M. K. (2021). Breakthrough Adsorption Study Using Activated Carbon and Molecular Sieve For CO₂ Capture.

Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-323987/v1>

- Darminto, Baqiya, M. A., & Asih, R. (2018). Pengembangan Bahan Karbon dari Biomassa. In *Surabaya, ITS Press*.
- Din, M. I., Khalid, R., Najeeb, J., & Hussain, Z. (2021). Fundamentals and Photocatalysis of Methylene Blue Dye Using Various Nanocatalytic Assemblies- A Critical Review. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126567>
- Dwi, L., Hayu, R., Nasra, E., Azhar, M., & Etika, S. B. (2021). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian (*Durio zibethinus* Murr.). *Periodic*, 10(2), 8–13. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Ernawati, Mafliah, I., Ubang, I., Podung, P. N., Nurbaiti, W., & Lestari, S. (2021). Adsorpsi Metilen Biru dengan Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 5(5), 173–179.
- Fatimah, I., Rubiyanto, D., Riyanto, Allwar, Fitri, N., Shabur, T., Purwiandono, G., Prakoso, N. I., Salmahaminati, Kurniawan, A., & Yanti, I. (2017). Refleksi Nilai-Nilai Keislaman pada Perkembangan dan Aplikasi Ilmu Kimia. In I. Fatimah (Ed.), *Universitas Islam Indonesia* (Vol. 53, Issue 9).
- Fauzi, A. F., & Utami, L. (2018). Effect of pH on Biosorption Ion Cd (II) in Solutions using Lengkuas Merah (*Alpinia Gralanga*). *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology State*, 01(01), 31–36.
- Febrianti, R., Saragih, D. F., Hasairin, A., Biologi, P., Medan, U. N., Willem, J., Psr, I., Estate, V. M., Biologi, P., & Biologi, M. P. (2021). Studi Karakteristik dan Botani Ekonomi Pinang (*Areca Catechu*) di Pusat Pasar Kota Medan. *PROSIDING SIXTH POSTGRADUATE BIO EXPO 2021*, 370–380.
- Fitriansyah, A., Amir, H., & Elvinawati, E. (2021). Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif dari Sabut Pinang (*Areca Catechu*) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigosol Blue 04-B. *Alotrop*, 5(1), 42–54. <https://doi.org/10.33369/atp.v5i1.16485>
- Frida, E., Darnianti, & Pandia, J. (2019). Preparasi dan Karakterisasi Biomassa Kulit Pinang dan Tempurung Kelapa Menjadi Briket dengan Menggunakan Tepung Tapioka sebagai Perekat. *Juitech*, 03(02), 1–8.
- Graven, H., Keeling, R. F., & Rogelj, J. (2020). Changes to Carbon Isotopes in Atmospheric CO₂ Over the Industrial Era and Into the Future Global Biogeochemical Cycles. *Global Biogeochemical Cycles*, 1–21. <https://doi.org/10.1029/2019GB006170>
- Hadi, K., Sofiyanti, & Ardiansyah. (2021). Hidrokarbon dan Minyak Bumi dalam Prespektif Al Quran. *Journal of Natural Science and Integration*,

4(2), 244-252.

Handika, G., Maulina, S., & Mentari, V. A. (2017). Tanaman Kelapa Sawit dengan Penambahan Aktivator Natrium Karbonat (Na_2CO_3) dan Natrium Klorida (NaCl). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(4), 41–44.

Hardiyati, R., Sylvia, N., & Muhammad. (2022). Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Karbon Aktif dari Ampas Tebu. *Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh Tahun 2022*, 879–888.

Hasibuan, R., & Pardede, H. M. (2023). Jurnal Teknik Kimia USU Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis terhadap Karakteristik Arang dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(1), 46–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.32734/jtk.v12i1.8534>

Huda, S., Ratnani, R. D., & Kurniasari, L. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif dari Bambu Ori (*Bambusa arundinacea*) yang di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 5(1). <https://doi.org/10.31942/inteka.v5i1.3397>

Indah, D. R. (2022). Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Karbon Baggase Tanpa Aktivasi. *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*, 9(1), 51–58. <https://ojs.ikipmataram.ac.id/index.php/jiim%0AMaret>

Irawan, A. (2019). Kalibrasi Spektrofotometer sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian. *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*, 1(2), 1–9.

Irawan, C. (2018). Penurunan Logam Fe dengan Menggunakan Fly Ash sebagai Adsorben. *SEMINASTIKA*, 1(1), 4–6.

Ismail, M. ., Jaafar, Z., & Zayadi, S. . (2020). Biomass-Based Activated Carbon from Areca Catechu for Dye Wastewater Treatment. *Journal on Technical*, 5(1), 1–9. <http://upikpolimas.edu.my/ojs/>

Joshi, P., & Joshi, S. (2022). Removal of Methylene Blue Dye from Water using Activated Carbon Prepared from Areca Nut. *International Journal of Advanced Engineering*, 5(01), 77–83.

Joshi, S., Shrestha, R. G., Pradhananga, R. R., Ariga, K., & Shrestha, L. K. (2021). High Surface Area Nanoporous Activated Carbons Materials from Areca catechu Nut with Excellent Iodine and Methylene Blue Adsorption. *Journal of Carbon Research*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.3390/c8010002>

Kamga, F. T. (2019). Modeling Adsorption Mechanism of Paraquat Onto Ayous (*Triplochiton scleroxylon*) Wood Sawdust. *Applied Water Science*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0879-3>

Khudhair, A. R., Sherazi, S. T. H., & Al-Baiati, M. N. (2020). Adsorption of

- Methylene Blue from Aqueous Solutions by Using A Novel Nano Co-Polymer. *AIP Conference Proceedings*, 2290(December). <https://doi.org/10.1063/5.0027741>
- Kristianto, H. (2017). Review: Sintesis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia ZnCl_2 . *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), 104–111. <https://doi.org/10.36055/jip.v6i3.1031>
- Legiso, Juniar, H., & Sari, U. M. (2019). Perbandingan Efektivitas Karbon Aktif Sekam Padi dan Kulit Pisang Kepok sebagai Adsorben pada Pengolahan Air Sungai Enim. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2019*, 1–13. jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek
- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v3i2.19531>
- MAHMUD, S. (2003). *A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for IDGH Pressure Adsorption on Carbon Adsorbents*. Oklahoma State University.
- Miftahorrahman, Yulianus R Matana, & Salim. (2015). *Teknologi Budidaya dan Pasca Panen Pinang*. Puslitbang Perkebunan. <http://balitka.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2017/03/3-Pdf-Pinang.pdf>
- Mohrig, J. R., Hammond, C. N., & Schatz, P. F. (2010). Technique in Organic Chemistry. In L. Renhard (Ed.), *W. H. Freeman and Company* (3rd ed.). Clancy Marshall. <https://doi.org/10.1038/180567a0>
- Mopoung, S., & Dejang, N. (2021). Activated Carbon Preparation from Eucalyptus Wood Chips Using Continuous Carbonization – Steam Activation Process in A Batch Intermittent Rotary Kiln. *Scientific Reports*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93249-x>
- Nidheesh, P. V., Zhou, M., & Oturan, M. A. (2018). An Overview on the Removal of Synthetic Dyes from Water by Electrochemical Advanced Oxidation Processes. *Chemosphere*, 197, 210–227. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.195>
- Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M., & Emola, I. J. (2021). Studi Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Arang Aktif Tempurung Lontar (*Borassus flabellifer* L.) Asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 46–57.
- Nurbaeti, L., Prasetya, A. T., & Kusumastuti, E. (2018). Arang Ampas Tebu (*Bagasse*) Teraktivasi Asam Klorida sebagai Penurun Kadar Ion H_2PO_4^- . *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 132–139.
- Nurdin, A., Iriani, I., Harahap, H., & Fahmi, A. (2022). Production Process of Large

- Pore Size Activated Carbon from Palm Kernel Shell using Sodium Chloride as An Activator. *Indo. J. Chem. Res.*, 10(1), 8–13. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2022.10-ahm>
- Oko, S., Mustafa, Kurniawan, A., & Palulun, E. S. B. (2021). Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Aktivator HCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Kopi. *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses Dan Teknologi Tepat Guna*, 17(1), 15–21.
- Oko, S., Mustafa, M., Kurniawan, A., & Norfitria, L. (2021). Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Plastik PET (Polyethylene terephthalate) Menggunakan Aktivator KOH. *Metana*, 17(2), 61–68. <https://doi.org/10.14710/metana.v17i2.40204>
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., & Oyewola, O. J. (2022). Methylene Blue Dye: Toxicity and Potential Elimination Technology from Wastewater. *Results in Engineering*, 16(September), 100678. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- Pane, G. C., & Hamzah, F. (2018). Pemanfaatan Kulit Buah Durian pada Pembuatan Arang Aktif dengan Metode Aktivasi Fisika-Kimia Menggunakan Asam Fosfat. *Jom Faperta*, 5(2), 1–14.
- Prayogatama, A., Nuryoto, & Kurniawan, T. (2022). Modifikasi Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia dan Fisika Menjadi Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Sains Dan Teknologi Volume*, 11(1), 47–58.
- Ragadhita, R., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to calculate Adsorption Isotherms of Particles Using Two-Parameter Monolayer Adsorption Models and Equations. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 205–234. <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i1.32354>
- Ramadhani, L. F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). Review: Teknologi Aktivasi Fisika pada Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>
- Ranganagowda, R. P. g., Kamath, S. S., & Bennehalli, B. (2019). Extraction and Characterization of Cellulose from Natural Areca Fiber. *Material Science Research India*, 16(1), 86–93. <https://doi.org/10.13005/msri/160112>
- Ridhayanti, S. A., & Rusmini. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Durian sebagai Adsorben Limbah Industri Tahu di Daerah Sepanjang, Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(1), 23. <https://doi.org/10.32493/jitk.v4i1.3842>
- Riwayati, I., Fikriyyah, N., & Suwardiyono, S. (2019). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Abu Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) Teraktivasi Asam Sulfat. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 4(2), 6–11.

<https://doi.org/10.31942/inteka.v4i2.3016>

- Rizki, A., Syahputra, E., Pandia, S., & Halimatuddahlia. (2019). Pengaruh Waktu Kontak dan Massa Adsorben Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dengan Aktivator H_3PO_4 terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), 54–60. <https://doi.org/10.32734/jtk.v8i2.1881>
- Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Puspaningrum, T., Adnan, A. A., & Indrasti, N. S. (2020). Kinerja Karbon Aktif dari Kulit Singkong dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat pada Air Limbah Laundry. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2), 180–189.
- Shobar, S., Sribudiani, E., & Somadona, S. (2020). Characteristics of Charcoal Briquette from the Skin Waste of Areca catechu Fruit with Various Compositions of Adhesive Types. *Jurnal Sylva Lestari*, 8(2), 189. <https://doi.org/10.23960/jsl28189-196>
- Sintakindi, A., & Ankamwar, B. (2020). Uptake of Methylene Blue from Aqueous Solution by Naturally Grown *Daedalea africana* and *Phellinus adamantinus* Fungi. *ACS Omega*, 5(22), 12905–12914. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00673>
- Siregar, S. A., Husnah, M., Sihombing, S. F., & Tanjung, E. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Reduced Graphene Oxide (rGO) dari Sumber Asap Sampah Anorganik. *Journal of Physics and Science Learning*, 02(2), 27–32.
- Sitanggang, T., Shofiyani, A., & Syahbanu, I. (2017). Karakterisasi Adsorpsi Pb (II) pada Karbon Aktif Dari Sabut Pinang (*Areca catechu L*) Teraktivasi H_2SO_4 . *Jurnal.Untan.Ac.Id*, 6(4), 49–55. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/22428>
- Solfianti, M., Herviyanti, H., Prasetyo, T. B., & Maulana, A. (2021). Pengaruh Aplikasi Biochar Limbah Kulit Pinang Dosis Rendah terhadap Sifat Kimia Inceptisol. *Agrikultura*, 32(1), 77. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i1.32602>
- Sukla Baidya, K., & Kumar, U. (2021). Adsorption of brilliant green dye from aqueous solution onto chemically modified areca nut husk. *South African Journal of Chemical Engineering*, 35(1), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.11.001>
- Tabassum, M., Bardhan, M., Novera, T. M., Islam, M. A., Hadi Jawad, A., & Islam, M. A. (2020). NaOH-Activated Betel Nut Husk Hydrochar for Efficient Adsorption of Methylene Blue Dye. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04762-0>
- Tiwari, D., Bhunia, H., & Bajpai, P. K. (2019). Synthesis, Characterization, Adsorption and Thermodynamic Studies of Pure and Binary CO_2 - N_2 Mixtures on Oxygen Enriched Nanostructured Carbon Adsorbents. *Brazilian Journal of*

- Chemical Engineering*, 36(3), 1319–1331. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190363s20180036>
- Touzani, I., Fikri-Benbrahim, K., Ahlafi, H., Ihssane, B., & Boudouch, O. (2022). Characterization of Ziziphus Lotus' Activated Carbon and Evaluation of Its Adsorption Potential. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/8502211>
- Udyani, K., Purwaningsih, D. Y., Setiawan, R., & Yahya, K. (2019). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika dengan Microwave. *Jurnal IPTEK*, 23(1), 39–46. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2019.v23i1.479>
- Utami, W., & Novallyan, D. (2019). Potensi Arang Aktif dari Limbah Sabut Pinang (*Areca catechu L*) Provinsi Jambi sebagai Biosorben. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 2(1), 24–26. <https://doi.org/10.32938/slk.v2i1.682>
- Venugopal, B., & Gopalakrishnan, J. (2019). Isolation of Cellulose Nanofibres from Areca Spathe and Its Characterization. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 10(3), 118–127. <https://doi.org/10.34218/IJARET.10.3.2019.013>
- Verayana, V., Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa Serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 13(1), 67–75. <https://www.neliti.com/publications/277418/>
- Verdiana, M., Widarta, I. W. R., & Permana, I. D. G. M. (2018). Pengaruh Jenis Pelarut pada Ekstraksi menggunakan Gelombang Ultrasonik terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Buah Lemon (*Citrus limon (Linn.) Burm F.*). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, 7(4), 213. <https://doi.org/10.24843/itepa.2018.v07.i04.p08>
- Wang, X., Zhang, P., Xu, F., Sun, B., Hong, G., & Bao, L. (2022). Adsorption of Methylene Blue on Azo Dye Wastewater by Molybdenum Disulfide Nanomaterials. *Sustainability (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/su14137585>
- Wati, A. M., Mahatmanti, F. W., Jumaeri, J., & Prasetya, A. T. (2021). Adsorpsi Metilen Biru oleh Abu Layang Batu Bara yang Teraktivasi Menggunakan Proses Hidrotermal dengan Bantuan Gelombang Mikro. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 58. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.1.50935.58-69>
- Wijaya, D. R., Paramitha, M., & Putri, N. P. (2019). Ekstraksi Oleoresin Jahe Gajah (*Zingiber officinale Var. Officinarium*) dengan Metode Sokletasi. *Jurnal Konversi*, 8(1), 9–16.

- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., & Kurniawan, C. (2018). Adsorpsi Logam Cr (VI) dan Cu (II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 242–248.
- Yang, J., Li, C., Yang, B., Sijun, K., & Zhang, Z. (2018). Study on Adsorption of Chromium (VI) by Activated Carbon from Cassava Sludge Study on Adsorption of Chromium (VI) by Activated Carbon from Cassava Sludge. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 128, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/128/1/012017>
- Yulia, R., Lamona, A., Makmur, T., & Yuslinaini, Y. (2020). Karakteristik Asap Cair dari Limbah Kulit Buah Pinang (*Areca Catechu*) dengan berbagai Variasi Suhu Pirolisis dan Waktu Pirolisis. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 7(1), 32–46. <https://doi.org/10.34128/jtai.v7i1.113>
- Yuliusman, Y., Puspitasari, M., & Nafisah, A. R. (2019). Preparation of Activated carbon by Chemical Activation Using KOH and Acetone from Low Density Polyethylene (LDPE) Wastes. *AIP Conference Proceedings*, 2175(November). <https://doi.org/10.1063/1.5134591>
- Zhu, Y., Li, Z., & Chen, J. (2019). Applications of Lignin-derived Catalysts for Green Synthesis. *Green Energy and Environment*, 4(3), 210–244. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2019.01.003>



LAMPIRAN

Lampiran 1: Surat Keputusan Dekan FTK Tentang Pengangkatan Pembimbing Skripsi

SURAT KEPUTUSAN DEKAN FTK UIN AR-RANIRY BANDA ACEH
Nomor: B-5630/Un.08/FTK/Kp.07.6/05/2023

TENTANG:
PENGANGKATAN PEMBIMBING SKRIPSI MAHASISWA FAKULTAS TARBIIYAH DAN KEGURUAN
UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

DEKAN FTK UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

Menimbang : a. bahwa untuk kelancaran bimbingan skripsi dan ujian munaqasyah mahasiswa pada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh maka dipandang perlu menunjuk pembimbing skripsi tersebut yang dituangkan dalam Surat Keputusan Dekan;

b. bahwa saudara yang tersebut namanya dalam surat keputusan ini dipandang cakap dan memenuhi syarat untuk diangkat sebagai pembimbing skripsi.

Mengingat : 1. Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;

2. Undang-undang Nomor 14 Tahun 2005, tentang Guru dan Dosen;

3. Undang-undang Nomor 12 Tahun 2012, tentang Pendidikan Tinggi;

4. Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2012 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah RI Nomor 23 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Keuangan Badan Layanan Umum;

5. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;

6. Peraturan Presiden RI Nomor 64 Tahun 2013, Tentang Perubahan IAIN Ar-Raniry Banda Aceh Menjadi UIN Ar-Raniry Banda Aceh;

7. Peraturan Menteri Agama RI Nomor 12 Tahun 2014, Tentang Organisasi dan Tata Kerja UIN Ar-Raniry Banda Aceh;

8. Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2015, tentang Statuta UIN Ar-Raniry;

9. Keputusan Menteri Agama Nomor 492 Tahun 2003, tentang Pendelegasian Wewenang, Pengangkatan, Pemindahan dan pemberhentian PNS di Lingkungan Departemen Agama Republik Indonesia;

10. Keputusan Menteri Keuangan Nomor 293/KMK.05/2011 tentang Penetapan Institut Agama Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh Pada Kementerian Agama Sebagai Instansi Pemerintah yang Menerapkan Pengelolaan Badan Layanan Umum;

11. Surat Keputusan Rektor UIN Ar-Raniry Nomor 01 Tahun 2015, tentang Pendelegasian Wewenang Kepada Dekan dan Direktur Pascasarjana di Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh;

Memperhatikan : Keputusan Sidang/Seminar Proposal Skripsi Prodi PKM Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry tanggal 30 Desember 2022.

MEMUTUSKAN

Menetapkan : Menunjuk Saudara:

1. Adean Mayasri, M.Sc sebagai Pembimbing Pertama

2. Muhammad Reza, M.Si sebagai Pembimbing Kedua

Untuk membimbing Skripsi:

Nama : Muhammad Rafdi

NIM : 190208003

Prodi : Pendidikan Kimia

Judul Skripsi : Potensi Limbah Kulit Pinang (Arecha Catechu L) Sebagai Karbon Aktif Untuk Adsorpsi Zat Warna Tekstil

KEDUA : Pembiayaan honorarium pembimbing pertama dan kedua tersebut di atas dibebankan pada DIPA UIN Ar-Raniry Banda Aceh Tahun 2023 Nomor: 025.04.2.423925/2023 tanggal 30 November 2022;

KETIGA : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan dirubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam surat keputusan ini.

KEEMPAT : Ditetapkan di : Banda Aceh

Pada Tanggal : 05 Mei 2023

An. Rektor

Dekan

Safri Tuluk

AR - RANIR

Tembusan

1. Rektor UIN Ar-Raniry di Banda Aceh;
2. Ketua Prodi PKM Fakultas Tarbiyah dan Keguruan;
3. Pembimbing yang bersangkutan untuk dimaklumi dan dilaksanakan;
4. Yang bersangkutan.

Lampiran 2: Surat Izin Penelitian dari Fakultas Tarbiyah dan Keguruan

1/10/23, 11:29 AM

Document



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN**

Jl. Syekh Abdur Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh
Telepon : 0651- 7557321, Email : uin@ar-raniry.ac.id

Nomor : B-190/Un.08/FTK.1/TL.00/01/2023
Lamp : -
Hal : **Penelitian Ilmiah Mahasiswa**

Kepada Yth,
Ka. Prodi Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala
Assalamu'alaikum Wr.Wb.
Pimpinan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry dengan ini menerangkan bahwa:

Nama/NIM : **MUHAMMAD RAFDI / 190208003**
Semester/Jurusan : VIII / Pendidikan Kimia
Alamat sekarang : Jl. Pesantren Dayah Darul Aman, Dusun. Kemiri, Desa. Pasie Lubuk, Kec. Ingin Jaya,
Kab. Aceh Besar

Saudara yang tersebut namanya diatas benar mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan bermaksud melakukan penelitian ilmiah di lembaga yang Bapak/Ibu pimpin dalam rangka penulisan Skripsi dengan judul **Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Pinang (*Areca catechu L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru**

Demikian surat ini kami sampaikan atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami mengucapkan terimakasih.

Banda Aceh, 05 Januari 2023
an. Dekan
Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kelembagaan,



Berlaku sampai : 05 Februari 2023

Habiburrahim, M.Com., M.S., Ph.D.

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

Lampiran 3: Surat Telah Melakukan Penelitian dari Prodi Pendidikan Kimia

**KEMENTERIAN AGAMA**
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
PRODI PENDIDIKAN KIMIA
Jl. Syekh Abdul Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh
Telp. (0651) 7553020: www.tarbiyah.ar-raniry.ac.id

SURAT KETERANGAN
Nomor: 142 /Un.08/PKM/PP.00.9/8/2023

Ketua Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh dengan ini menerangkan bahwa:

Nama : Muhammad Rafdi
NIM : 190208003
Program Studi : Pendidikan Kimia

Benar nama yang tersebut di atas telah menyelesaikan penelitian di Laboratorium Kimia Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh dengan judul penelitian ***"Potensi Limbah Kulit Pinang (Arecha Catechu L.) Sebagai Karbon Aktif untuk Adsorpsi Zat Warna Tekstil"*** yang dilaksanakan pada Tanggal 17 Juni s/d 20 Juli 2023.

Demikianlah surat keterangan ini dikeluarkan untuk dapat dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Banda Aceh, 1 Agustus 2023
Ketua Program Studi Pendidikan Kimia

Mujakir


جامعة الرانيري
AR - RANIRY

Lampiran 4: Surat Telah Melakukan Penelitian di Prodi Teknik Kimia USK

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI**
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK KIMIA
LABORATORIUM SUMBER DAYA DAN ENERGI
Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No. 7 Darussalam-Banda Aceh 233111 Telp 0651-51977 pes 4326

SURAT IZIN PEMAKAIAN LABORATORIUM
SUMBER DAYA DAN ENERGI

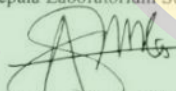
Saya yang bertanda tangan di bawah ini adalah Kepala Laboratorium Sumber Daya Energi dan Dosen Pembimbing, bersama ini memberikan izin pemakaian Laboratorium Sumber Daya Energi beserta fasilitasnya kepada mahasiswa berikut untuk melaksanakan penelitian:

1. Nama/NIM : Muhammad Rafdi/190208003 (No.HP 081958063775)
2. Pembimbing : Adean Mayasri, M.Sc
3. Judul Penelitian : Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Pinang (*Arecha catechu L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru

Tanggal Mulai	16 Januari 2023	
Tanggal Selesai	4 Februari 2023	

Segala sesuatu yang mengakibatkan kerugian akan menjadi tanggung jawab mahasiswa yang bersangkutan.

Darussalam, 13 Januari 2023
Menyetujui,
Pembimbing Penelitian,


Dr. Ir. Asri Gani, M.Eng
NIP. 196603121998021001


Adean Mayasri, M.Sc
NIP. 199203122018012002

Tembusan:

1. Ybs untuk dilaksanakan
2. Arsip Laboratorium

جامعة الرانيري
AR - RANIRY

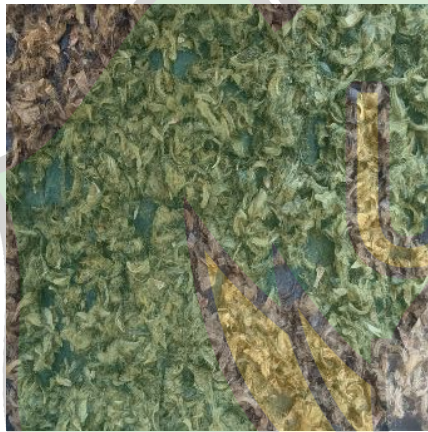
Lampiran 5: Dokumentasi Penelitian



Gambar pengumpulan kulit pinang



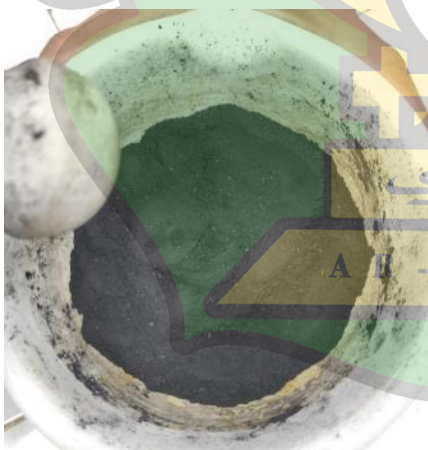
Gambar pencucian dan perendaman



Gambar pengeringan



Gambar proses karbonisasi



Gambar karbon setelah karbonisasi



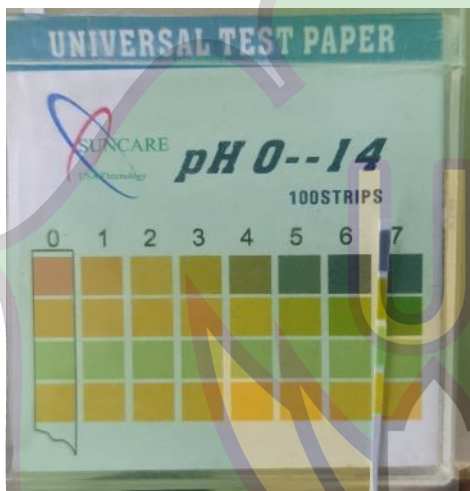
Gambar proses sokletasi menggunakan aseton



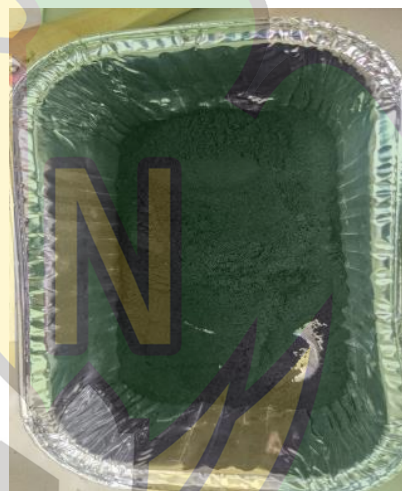
Gambar aktivasi karbon dengan HCl



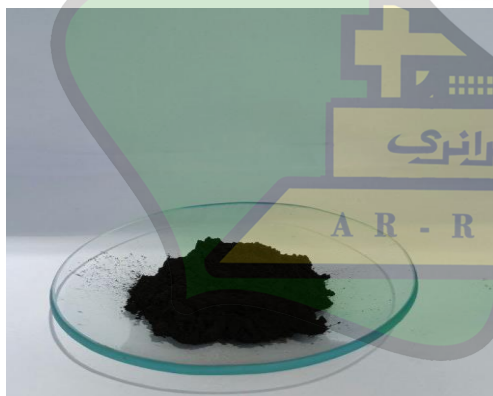
Gambar penetralan karbon



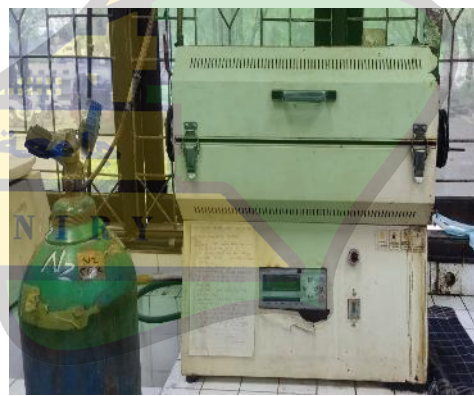
Gambar uji pH karbon aktif 6 dengan kertas indikator universal



Gambar pengeringan karbon aktif



Gambar karbon aktif



Gambar electrical horizontal furnace

Lampiran 6: Dokumentasi Analisis



Gambar analisis rendemen karbon



Gambar analisis kadar abu karbon



Gambar analisis kadar air karbon



Gambar hasil pengenceran larutan standar metilen biru



Gambar proses adsorpsi dengan karbon aktif



Gambar pengukuran absorbansi filtrat metilen biru menggunakan UV-Vis Genesys 30



Gambar filtrat dari hasil uji adsorpsi

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : MUHAMMAD RAFDI
NIM : 190208003
Fakultas : Tarbiyah dan Keguruan
Tempat/Tanggal Lahir : Aceh Besar, 02 April 2001
Alamat : Jln. Pesantren Dayah Darul Aman, Desa. Pasie



Lubuk
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Kewarganegaraan : Indonesia
Kode Pos : 23371
Nomor Telepon : 081958063775
Email : mrafdi47@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 2007 – 2013 : SDN Teladan Lubuk Aceh Besar
Tahun 2013 – 2016 : SMPN 3 Ingin Jaya Aceh Besar
Tahun 2016 – 2019 : SMAN 1 Ingin Jaya Aceh Besar
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh

DATA ORANG TUA

Nama Ayah : BUKHARI
Pekerjaan Ayah : Petani
Nama Ibu : MARTINA
Pekerjaan Ibu : Petani
Alamat : JL. Pesantren Dayah Darul Aman, Desa. Pasie
Lubuk