

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT KOPI ARABIKA (*Coffea Arabica*) MENJADI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

**SKRIPSI**

**Diajukan Oleh:**

**RIZKY JUMATUL FAJRI**

**NIM. 190208005**

**Mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan**

**Prodi Pendidikan Kimia**



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

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT KOPI ARABIKA (*Coffea Arabica*) MENJADI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

**SKRIPSI**

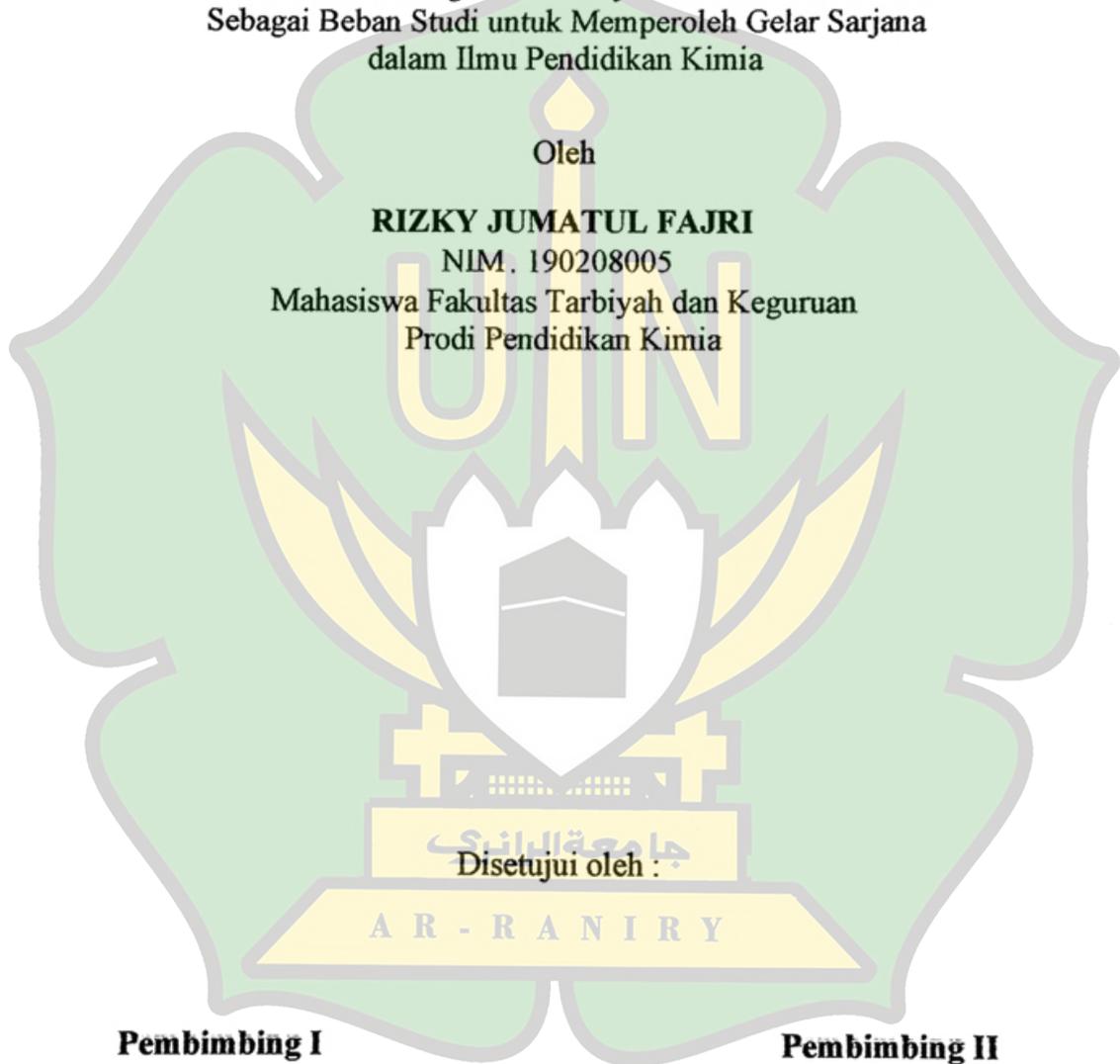
Diajukan kepada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan (FTK)  
Universitas Islam Negeri Ar-raniry Darussalam Banda Aceh  
Sebagai Beban Studi untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
dalam Ilmu Pendidikan Kimia

Oleh

**RIZKY JUMATUL FAJRI**

NIM. 190208005

Mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan  
Prodi Pendidikan Kimia



**Pembimbing I**

**Adean Mavasri, M.Sc.**  
NIP. 199203122018012002

**Pembimbing II**

**Muhammad Reza, M.Si.**  
NIP. 199402122020121015

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT KOPI ARABIKA (*Coffea Arabica*) MENJADI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

**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

Jumat, 22 Desember 2023 M  
9 Jumadil Akhir 1445 H

**Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi**

Ketua,



Adean Mayasri, M.Sc.  
NIP. 199203122018012002

Sekretaris,



Muhammad Reza, M.Si.  
NIP. 199402122020121015

Penguji I,



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

Penguji II,



Noviza Rizkia, M.Pd.  
NIP. 199211162019032009

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry  
Darussalam Banda Aceh



  
Prof. Saiful Mulana, S.Ag., M.A., M.Ed., Ph.D.  
NIP. 1979010219997031003

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH/SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rizky Jumatul Fajri  
NIM : 190208005  
Prodi : Pendidikan Kimia  
Fakultas : Tarbiyah dan Keguruan  
Judul Skripsi : Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Arabika (*Coffea Arabica*)  
Menjadi Karbon Aktif Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru

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 di kemudian 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.

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

Banda Aceh, 22 Desember 2023

Yang Menyatakan,





RIZKY JUMATUL FAJRI

## ABSTRAK

Nama : Rizky Jumatul Fajri  
NIM : 190208005  
Fakultas/Prodi : Tarbiyah dan Keguruan/ Pendidikan Kimia  
Judul : Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Arabika  
(*Coffea Arabica*) Menjadi Karbon Aktif Sebagai  
Adsorben Zat Warna Metilen Biru  
Tanggal Sidang : 22 Desember 2023 / 9 Jumadil Akhir 1445 H  
Tebal Skripsi : 90 halaman  
Pembimbing I : Adean Mayasri, M.Sc  
Pembimbing II : Muhammad Reza, M.Si  
Kata kunci : Kulit kopi; karbon aktif; adsorben; metilen biru

Kopi merupakan salah satu komoditi perkebunan yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Berdasarkan data Ditjenbun (2021) produksi kopi meningkat menjadi 765.415 ton pada tahun 2021. Dengan limbah proses pengolahan kopi mencapai 45% dari buah kopi, limbah tersebut dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai bahan baku pembuatan adsorben (karbon aktif) karena mengandung karbon sebesar 45,3 % yang dapat digunakan sebagai penyerap limbah yang terlarut dalam air. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk memanfaatkan limbah kulit kopi menjadi karbon aktif pada adsorbat zat warna metilen biru, menghitung kemampuan adsorpsi dari karbon aktif limbah kulit kopi pada proses penyerapan zat warna metilen biru. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu preparasi sampel, karbonisasi, sokletasi diakhiri aktivasi karbon dan pengujian daya serap. Kulit kopi dikarbonisasi menggunakan furnace pada suhu dan waktu optimum berturut-turut 450 °C selama 4 jam. Karakterisasi karbon aktif kulit kopi (KAKK) menggunakan spektrofotometer FTIR menghasilkan beberapa puncak serapan yaitu 1367  $\text{cm}^{-1}$ , 1156  $\text{cm}^{-1}$ , 1570  $\text{cm}^{-1}$ , 3038  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan serapan khas untuk gugus C-H, C-O, C=C, dan O-H. waktu kontak optimum Adsorpsi KAKK yaitu 90 menit dengan kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) dan efisiensi adsorpsi berturut-turut 94,07 mg/g dan 11,75 %. Kapasitas adsorpsi karbon aktif kulit kopi pada parameter dosis, konsentrasi, dan waktu kontak optimum adalah 1,35 mg/g, 5.6 mg/g, dan efisiensi adsorpsi nya yaitu 97,29 %, 90,66% sehingga diperoleh kinetika adsorpsi yang memenuhi pseudo orde satu dengan nilai konstan mendekati atau sama dengan 1. Mekanisme adsorpsi ini memenuhi model Isoterm Temkin, isoterm Temkin menjelaskan proses yang tidak homogen, mekanisme yang terjadi adalah secara kimia.

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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: **“Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Arabika (*Coffea Arabica*) Menjadi Karbon Aktif Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru”**. 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 yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dalam memberikan masukan, bimbingan dan arahan kepada saya 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 dan arahan kepada saya sehingga skripsi dapat diselesaikan tepat waktu.
5. Bapak Haris Munandar, M.Pd selaku laboran Laboratorium Kimia FTK yang telah memberikan arahan dan masukan selama penelitian berlangsung

6. Ucapan terima kasih yang sangat mendalam kepada Ayahanda Restu Amaluddin dan Ibunda Yeni Yelza yang telah menyemangati penulis agar menjadi sosok yang tegar, tangguh dan berakhlakul karimah selama berkuliah di UIN Ar-Raniry.
7. Ucapan terima kasih juga kepada abang saya Sofyan Andre dan Andika Kumara yang terus memberikan dukungan dan semangat
8. Kepada tiga sekawan selaku tim adsorpsi yang telah menjadi tempat bertukar pikiran selama penelitian ini berlangsung di Laboratorium.
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.

Aceh Besar, 22 Desember 2023  
Penulis,

Rizky Jumatul Fajri

AR - R A N I R Y

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPEL JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SIDANG .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Ruang Lingkup Penelitian .....	5
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
A. Karbon .....	6
B. Karbon Aktif .....	7
1. Aktivasi Karbon .....	8
2. Bentuk Karbon Aktif .....	9
3. Sifat Karbon Aktif .....	11
4. Struktur Kimia Karbon Aktif .....	12
5. Sumber Karbon Aktif .....	13
6. Karakteristik Karbon Aktif .....	14
C. Kopi .....	17
D. Adsorpsi .....	18
1. Mekanisme Adsorpsi .....	19
E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi .....	21
1. Waktu Kontak .....	21
2. Karakteristik Adsorben .....	21
3. Luas Permukaan .....	22
4. Kelarutan Adsorbat .....	22
5. Ukuran adsorbat .....	22
6. pH .....	23
7. Temperatur Adsorpsi .....	23
F. Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif .....	23
G. Penentuan Isothermal Adsorpsi .....	24
H. Penentuan Kinetika Reaksi .....	26
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
A. Garis Besar Penelitian .....	28
B. Alat dan Bahan .....	28
1. Alat .....	28

2. Bahan .....	29
C. Waktu dan Tempat.....	29
D. Prosedur Kerja .....	30
1. Preparasi Sampel.....	32
2. Karbonisasi Kulit Kopi .....	32
3. Aktifasi Karbon Aktif .....	35
4. Karakteristik Fourier Transform Infrared (FTIR).....	38
5. Analisis Fisikokimia Karbon Aktif Kulit Kopi.....	38
6. Penentuan Daya Serap Dengan Larutan Metilen Biru.....	40
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
A. Preparasi Sampel .....	43
B. Karbonisasi Kulit Kopi .....	44
C. Penentuan Suhu dan Waktu Optimum.....	44
D. Aktivasi Karbon Aktif Kulit Kopi .....	49
1. Sokletasi.....	49
2. Aktivasi menggunakan HCl.....	50
E. Analisis FTIR (Fourier Transform InfraRed) Karbon Kulit Kopi ..	52
F. Pembuatan Kurva Standar Larutan Metilen Biru .....	54
G. Penentuan Kapasitas Adsorpsi ( $Q_e$ ) dan Efisiensi Adsorpsi .....	55
H. Penentuan Model Isoterm.....	63
I. Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	65
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>68</b>
A. Kesimpulan.....	68
B. Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>77</b>
<b>RIWAYAT HIDUP PENULIS.....</b>	<b>84</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Karbon Aktif Bentuk Serbuk .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Karbon Aktif Bentuk Granular .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Karbon Aktif Bentuk Pellet .....	11
Gambar 2.4 Struktur kimia karbon aktif .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Electircal Horizontal Furnace .....	16
<b>Gambar 2.6</b> Spektrofotometer Sinar Tampak (Vis-Spektrophotometer).....	17
<b>Gambar 2.7</b> Gambar Kebun Kopi.....	17
<b>Gambar 2.8</b> Mekanisme Adsorpsi .....	19
<b>Gambar 2.9</b> Mekanisme mikropori, makropori, dan mesopore.....	21
<b>Gambar 3.1</b> Bagan alir pembuatan dan pengujian karbon aktif kulit kopi (KAKK) .....	31
<b>Gambar 4.1</b> (a) Kulit kopi sebelum pencucian, (b) Pencucian Kulit Kopi,....	43
<b>Gambar 4.2</b> (a) Kurva variasi kadar abu terhadap suhu karbonisasi terhadap	46
<b>Gambar 4.3</b> (a) Kurva variasi kadar abu terhadap waktu karbonisasi terhadap uji.....	48
<b>Gambar 4.4</b> (a) perangkaian alat sokletasi (b) Proses pencucian karbon .....	50
<b>Gambar 4.5</b> (a) Aktivasi Karbon Aktif, (b) pencucian hingga pH 6 .....	51
<b>Gambar 4.6</b> Kurva FTIR Karbon Kulit Kopi sebelum dan Sesudah Aktivasi	53
<b>Gambar 4.7</b> Larutan Kurva Standar Metilen Biru .....	55
<b>Gambar 4.8</b> Pengaruh Variasi Dosis Karbon Aktif Kulit Kopi Terhadap.....	56
<b>Gambar 4.9</b> 10 Ppm Hasil Adsorpsi (Kiri) (Kanan) Filtrat Karbon Aktif Dengan .....	58
Gambar 4.10 Pengaruh Variasi Konsentrasi Metilen Biru Terhadap Kapasitas	59
<b>Gambar 4.11</b> 45 Ppm Menunjukkan Sebelah Kiri Merupakan Metilen Biru.	60
<b>Gambar 4.12</b> Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi Dan ...	61
<b>Gambar 4.13</b> 45 Ppm 90 Menit Menunjukkan Sebelah Kiri Merupakan Metilen .....	62
<b>Gambar 4.14</b> Model Isoterm Langmuir .....	63
<b>Gambar 4.15</b> Model Isoterm Freundlich .....	64
<b>Gambar 4.16</b> Model Isoterm Temkin .....	65
<b>Gambar 4.17</b> (a) Pseudo Orde Satu, (b) Pseudo Orde Dua .....	66

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Syarat mutu karbon aktif .....	12
<b>Tabel 2.2</b> Sumber Karbon Aktif Lainnya berdasarkan hasil penelitian terdahulu.....	14
<b>Tabel 2.3</b> Tabel Serapan IR pada gugus fungsi khas karbon .....	15
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Alat .....	28
<b>Tabel 4.1</b> Kadar air karbon sebelum Aktivasi dan sesudah aktivasi .....	52
<b>Tabel 4.2</b> persamaan model kinetika reaksi adsorpsi .....	65



# BAB I PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu hasil komoditi perkebunan yang memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi diantara tanaman perkebunan lainnya dan berperan penting sebagai sumber devisa negara. Kopi tidak hanya berperan penting sebagai sumber devisa melainkan juga merupakan sumber penghasilan bagi tidak kurang dari satu setengah juta jiwa petani kopi di Indonesia. Perkembangan kopi di Indonesia mengalami kenaikan produksi yang cukup pesat, pada tahun 2007 produksi kopi mencapai sekitar 676,5 ribu ton dan pada tahun 2013 produksi kopi sekitar 691,16 ribu ton. Sehingga produksi kopi di Indonesia dari tahun 2007-2013 mengalami kenaikan sekitar 2,17%. Keberhasilan agribisnis kopi membutuhkan dukungan semua pihak yang terkait dalam proses produksi pengolahan kopi dan pemasaran komoditas kopi. Upaya meningkatkan produktivitas dan mutu kopi terus dilakukan sehingga daya saing kopi di Indonesia dapat bersaing di pasar dunia (Marhaenanto dkk., 2015).

Kulit kopi arabika merupakan material yang melimpah dan murah. Material ini telah digunakan sebagai adsorben. Kulit kopi arabika (*Coffea Arabica*) merupakan limbah hasil pertanian yang keberadaannya sangat banyak. Pada perkebunan kopi, limbah padat kulit kopi belum dimanfaatkan secara optimal (Tandigau dkk., 2015). Kulit kopi arabika mengandung selulosa, dan lignin yang berpotensi mengikat logam berat seperti logam nikel (Tandigau dkk., 2015). Unsur kimiawi pada kulit kopi mengandung bahan organik seperti karbon (C), hydrogen

(H) dan oksigen (O) yang terikat dalam bentuk senyawa selulosa (45%), hemiselulosa (25%), lignin (2 %), resin (45%), dan abu (0,5 %) (Thamrin, 2015).

Karbon aktif adalah karbon yang diaktivasi pada suhu tinggi sehingga memiliki luas permukaan tinggi karena adanya pori pada permukaan karbon dan dapat digunakan sebagai bahan penyerap atau adsorben. Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif ini dapat diaplikasikan ke dalam berbagai hal, misalnya penjernihan air, pemurnian gas, pemurnian emas, penghilang warna atau bau pada makanan (Prasetyo dkk., 2014).

Karbon aktif adalah suatu karbon yang mempunyai kemampuan daya serap yang baik terhadap anion, kation, dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas. Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan ialah kulit kopi. Secara umum, bentuk biji kopi penggilingan berupa serpihan-serpihan kecil. Seperti halnya cangkang kulit tumbuhan biji umumnya, kulit biji kopi terdiri dari selulosa dan senyawa organik lainnya dimana terdapat kandungan karbon. Bahan baku yang berasal dari hewan, tumbuh-tumbuhan, ataupun mineral yang mengandung karbon dapat dibuat menjadi karbon aktif. Berdasarkan hal ini, kulit biji kopi dapat diupayakan menjadi karbon aktif, sehingga diharapkan memiliki nilai lebih daripada hanya sekedar limbah hasil produksi kopi (Simbiring, 2010).

Karbon aktif adalah salah satu adsorben yang digunakan dalam proses penjernihan air. Karbon aktif digunakan luas permukaan besar sehingga daya adsorpsinya lebih tinggi. Dalam pengolahan sumber air, karbon aktif dapat

menghilangkan warna, bau dan polutan sehingga meningkatkan kualitas air menjadi sumber air yang layak (Alfi dkk., 2020).

Beberapa bahan yang mengandung banyak karbon dan terutama yang memiliki pori dapat digunakan untuk membuat karbon aktif. Pembuatan karbon aktif dilakukan melalui proses aktivasi arang dengan cara fisika atau kimia. Perbedaan bahan baku dan cara aktivasi yang digunakan dapat menyebabkan sifat dan mutu karbon aktif berbeda pula (Lempang, 2014).

Penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari kulit biji kopi telah dilakukan oleh Purnomo (2010), dimana proses karbonisasi dilakukan dengan alat furnace pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 4$  jam. Dilanjutkan dengan proses aktivasi karbon aktif dengan larutan HCl dengan konsentrasi larutan 1 M. Pengujian daya serap karbon aktif terhadap iodin menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 302,13 mg/g. Dari penelitian yang telah disebutkan sebelumnya belum melakukan pemenuhan terhadap standar SNI (063730-1995) untuk daya serap iodinnya. Penelitian lain tentang pembuatan karbon aktif dari kulit kopi robusta dilakukan oleh (Anggraini Puspitasari dkk., 2017) dimana dilakukan dengan menggunakan tanur pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam. Proses aktivasi dilakukan menggunakan  $\text{ZnCl}_2$  10% pengujian daya serap menghasilkan kapasitas sebesar 4,48 mg/g. Dengan demikian dilaksanakanlah penelitian pembaharuan dengan mempergunakan variasi konsentrasi aktivator HCl 0,5 M, 1 M, 1,5 M serta 2 M, temperatur karbonisasi  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$  serta  $500^{\circ}\text{C}$  serta waktu aktivasi 30 menit, 60 menit, 90 menit serta 120 menit untuk penurunan kadar fenol. Keterbaruan dari variasi konsentrasi

aktivator suhu dan waktu karbonasi menghasilkan karbon aktif yang memiliki kualitas yang sesuai standar SNI (06-3730-1995).

Penelitian ini dilakukan dengan membuat karbon aktif dari kulit kopi arabika (*Coffea Arabica*) yang diaplikasikan terhadap zat warna yang bersifat kationik (metilen biru). Berdasarkan data Hanum dkk., (2017) hasil serapan adsorpsi maksimum dengan aktivator KOH sebesar 3,92 mg/g. Sedangkan hasil serapan penelitian ini dengan aktivator HCl sebesar 11,75 mg/g. Hasil dari penelitian ini akan diperoleh informasi tentang proses pembuatan dan karakteristik karbon aktif yang terbuat dari kulit kopi arabika (*Coffea Arabica*) serta akan didapat informasi tentang studi adsorpsi zat warna yang bersifat kationik (metilen biru) menggunakan karbon aktif yang telah dihasilkan. Informasi-informasi ini akan menambah khazanah ilmu pengetahuan tentang pengolahan limbah. Karbon aktif kulit kopi akan dilakukan pembuatan karbon aktif menggunakan tanur dengan waktu 450°C selama 4 jam, karbon aktif yang telah dihasilkan dapat digunakan sebagai pemurnian terhadap limbah.

## **B. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan terhadap kulit kopi ini adalah sebagai berikut:

1. Memanfaatkan limbah kulit kopi menjadi karbon aktif sebagai adsorben zat warna metilen biru
2. Menghitung kemampuan adsorpsi dari karbon aktif limbah kulit kopi pada proses penyerapan zat warna metilen biru.

### C. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan baku kulit buah kopi sebagai adsorben. Tahap pertama adalah proses pencucian dengan menggunakan air bersih sebanyak dua kali pencucian dan proses pengeringan. Selanjutnya proses karbonisasi menggunakan alat *furnace* dengan suhu dan waktu optimum, hingga diperoleh karbon aktif dari limbah kulit kopi diperoleh. Selanjutnya, tahap akhir sintesis karbon adalah penggerusan dan pengayakan dengan ayakan ukuran 80-100 mesh. Arang (karbon) digunakan untuk proses karakterisasi dengan menggunakan metode uji kadar air, kadar abu, uji daya serap dan uji FTIR. Pada tahap adsorpsi karbon aktif yang telah dibuat akan dilakukan proses pengadukan menggunakan stirrer hingga tercampur antara karbon aktif dengan metilen biru dengan waktu tertentu. Selanjutnya karbon yang telah tercampur akan disaring dan akan di uji absorbansinya menggunakan alat vis- spektro. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi lebih lanjut tentang pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai adsorben, sehingga dapat dijadikan alternatif bahan baku dalam pembuatan karbon aktif yang dibutuhkan oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, pemanfaatan adsorben dari karbon aktif kulit kopi menyelesaikan dua masalah limbah sekaligus, yaitu mengurangi jumlah sampah kulit kopi dan mengurangi polutan zat warna MB dalam air.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Karbon**

Karbon merupakan unsur yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6 pada tabel periodik. Sebagai unsur golongan 14 pada tabel periodik, karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa ada empat elektron yang dapat untuk membentuk ikatan kovalen, baik dengan unsur lain atau sesama karbon. Karbon merupakan komponen penting penyusun biomassa tanaman. Tempat penyimpanan karbon biomassa pohon (termasuk bagian atas yang meliputi batang, cabang ranting, daun bunga dan buah bagian bawah sampai akar). Karbon merupakan zat yang sudah ada sebelum terbentuknya bumi. Karbon terdapat pada benda mati dan benda hidup. Karbon terdapat di udara dalam bentuk gas karbondioksida. Pada tumbuhan, karbon terdapat pada batang, daun, akar, buah, dan juga pada daun kering yang telah berguguran (Wendri dkk., 2015).

Limbah yang dihasilkan dari proses pemisahan kulit kopi dan biji kopi sangat melimpah jumlahnya, dan biasa di dimanfaatkan beberapa persen untuk kompos atau dibakar disentra penggilingan kopi. Limbah kulit kopi biasanya dibiarkan dibawah tanaman kopi sebagai bahan organik atau satu satunya jalan adalah membakar limbah tersebut pada tempat terbuka. Salah satu alternatif pengolahan kulit kopi adalah sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Karbon aktif dari limbah kulit kopi ini didapatkan berdasarkan bahan dasar pembuatan harus mengandung unsur karbon, karbon aktif dapat dihasilkan dengan cara memanaskannya pada suhu yang tinggi (Raudah, 2014).

## **B. Karbon Aktif**

Karbon aktif adalah suatu bahan yang mengandung unsur karbon 85-95% dan merupakan padatan berpori. Karbon aktif ini merupakan hasil pemanasan bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi tetapi tidak teroksidasi. Karbon aktif mempunyai sifat Higroskopis sehingga mudah menyerap uap air dari udara. Kadar air dari karbon aktif diharapkan memiliki nilai yang rendah, karena kadar air yang tinggi dapat mengurangi daya serap karbon aktif terhadap gas maupun cairan gas. Karbon aktif dapat menyerap uap air dalam jumlah yang sangat besar, sifat yang sangat higroskopis inilah yang sering diajukan bahwa karbon aktif merupakan bahan yang sangat cocok dijadikan sebagai adsorben (Dewi dkk., 2020).

Karbon aktif dikategorikan pada karbon nongrafit karena mempunyai kerapatan rendah dan struktur berpori. Karbon aktif bisa diproduksi dari bahan yang mengandung karbon-karbon satunya berasal limbah pertanian seperti cangkang kelapa sawit, kulit buah, tempurung, akar, batang, kulit kayu, bunga, daun. Beberapa kriteria pemilihan bahan dasar untuk menghasilkan karbon aktif dengan kandungan 85-95% karbon yang dihasilkan dari material yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Fithry, dkk., 2023)

Karbon aktif telah diakui sebagai salah satu adsorben yang paling populer dan banyak digunakan dalam pengolahan air dan air limbah di seluruh dunia. Sifat adsorptif spesifik arang adalah pertama kali ditemukan oleh Scheele pada tahun 1773 untuk perawatan gas diikuti dengan penghilangan warna pada air pada tahun 1786. Karbon aktif memiliki struktur berpori yang melimpah dan kapasitas adsorpsi yang kuat, banyak digunakan di berbagai industri, termasuk dalam pemisahan,

penghilangan zat warna dan polutan dari air limbah, dan pada proses penjernihan air (Alfi, dkk., 2020).

Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran tanur, menggunakan metode pirolisis dengan memanaskannya pada suhu 450°C selama 5 jam. Hal ini dilakukan agar pori-pori dari karbon dapat menyerap limbah (Admaja, 2020)

### **1. Aktivasi Karbon**

Aktivasi karbon bisa dilakukan dengan dua metode aktivasi yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO<sub>2</sub> (Sari dkk., 2021). Metode aktivasi secara fisika antara lain dengan menggunakan uap air, gas karbon dioksida, oksigen, dan nitrogen. Gas-gas tersebut berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya, menghilangkan konstituen yang mudah menguap dan membuang produksi tar atau hidrokarbon-hidrokarbon pengotor yang ada pada adsorben. Kenaikan temperatur aktivasi pada kisaran 800°C-1000°C dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari adsorben (Ramadhani dkk., 2020).

Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan-bahan pengaktif seperti garam kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>), magnesium klorida (MgCl<sub>2</sub>), seng klorida (ZnCl<sub>2</sub>), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dan natrium klorida (NaCl).

Bahan-bahan pengaktif tersebut berfungsi untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi (Sahraeni dkk., 2019).

## **2. Bentuk Karbon Aktif**

### **a. Karbon Aktif Bentuk Serbuk**

Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 0,18 mm. Serta serbuk karbon aktif yang didapat didapat semakin halus jika temperatur aktivasi fisiknya semakin tinggi (Nurdiansah & Susanti, 2013).



**Gambar 2.1** Karbon Aktif Bentuk Serbuk

Karbon aktif bentuk serbuk banyak digunakan pada industri kimia, seperti pengolahan air minum, industri farmasi, bahan tambahan makanan, penghalus gula, pemurnian glukosa dan pengolahan zat

pewarna kadar tinggi. Kegunaan lainnya terdapat pada bidang kesehatan yaitu berfungsi untuk menghindari penyerapan racun yang terdapat pada saluran pencernaan (Mody ,2014).

#### **b. Karbon Aktif Bentuk Granular**

Karbon aktif bentuk granular/tidak beraturan dengan ukuran 0,2-5 mm. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Beberapa aplikasi dari jenis ini digunakan untuk: pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, pemurnian pelarut dan penghilang bau busuk (Kusnadi dkk., 2021).



**Gambar 2.2** Karbon Aktif Bentuk Granular

#### **c. Karbon Aktif Bentuk Pelet**

Karbon aktif berbentuk pellet dengan diameter 0,8-5 mm. Karbon aktif ini berbentuk silinder kecil, karbon aktif ini mempunyai tekanan yang rendah (Ramadhani, dkk., 2020).



**Gambar 2.3** Karbon Aktif Bentuk Pellet

Karbon aktif bentuk pellet sering digunakan pada fasa gas. Karbon aktif bentuk pellet memiliki banyak kegunaan contohnya untuk pemurnian udara, control emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran dan pengontrol emisi pada gas buang (Anwar, 2020).

### **3. Sifat Karbon Aktif**

Sifat adsorpsi karbon aktif bergantung kepada permukaannya, namun pada bidang industri karbon aktif bergantung pada struktur porinya, bentuk pori dari karbon aktif sangat bervariasi contohnya silinder, persegi panjang, dan bentuk lain yang tidak teratur. Gugus fungsi dapat terbentuk pada karbon aktif jika karbon aktif terjadi aktivasi, yang disebabkan interaksi pada permukaan karbon dengan atom seperti oksigen dan nitrogen. Oksidasi yang terjadi di permukaan karbon aktif dapat menghasilkan gugus hidroksil, karbonil, dan karboksilat (Sudirijo 2005).

**Tabel 2.1** Syarat mutu karbon aktif

No.	Uraian	satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Max 15	Max 25
2.	Kadar air	%	Max 4,5	Max 15
3.	Kadar abu	%	Max 2,5	Max 10
4.	Bagian yang tidak mengarang	%	Tidak ternyata	Tidak ternyata
5.	Daya serap terhadap larutan I <sub>2</sub>	mg/g	Min 750	Min 750
6.	Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65

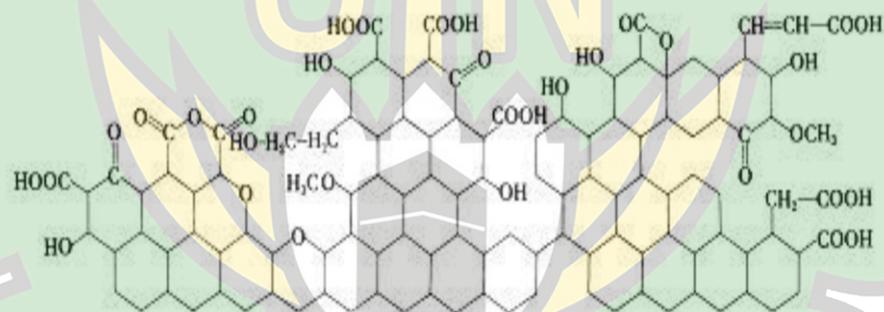
(Sumber: Anonim, 1995)

#### 4. Struktur Kimia Karbon Aktif

Karbon aktif mempunyai bentuk amorf yang terdiri dari pelat-pelat datar di sekitar atom-atom karbonnya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Hal tersebut dibuktikan dengan pemancaran sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristal yang sangat kecil dengan struktur grafit.

Selain mengandung karbon, karbon aktif juga mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang dimana secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, lakton, quinon, dan gugus-gugus eter. Gugus fungsional terbentuk saat proses aktivasi oleh interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Gugus fungsional ini terbentuk di permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya. Gugus fungsi yang mengalami pergeseran bilangan gelombang dapat diasumsikan

sebagai gugus yang berperan pada proses adsorpsi (Fauzi & Utami, 2018). Adsorpsi secara kimia atau kemisorpsi terjadi diawali dengan proses adsorpsi fisik, yaitu partikel adsorbat yang melekat dipermukaan adsorben melalui gaya Van Der Waals atau ikatan hidrogen. Pada adsorpsi kimia partikel akan melekat pada permukaan dengan cara membentuk ikatan kimia yang biasanya berupa ikatan kovalen, dan cenderung akan mencari tempat maksimum bilangan koordinasi dengan substrats (Ineke dkk., 2023). Ilustrasi struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Struktur kimia karbon aktif

## 5. Sumber Karbon Aktif RANIRY

Kulit kopi dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Hal ini dapat dilihat dari kandungan karbon kulit kopi yang cukup besar, yaitu 45,3% (Syafira, 2012). Kulit kopi dapat dijadikan sebagai karbon aktif dikarenakan memiliki kandungan selulosa yang besar, yaitu 15-43%. Kandungan selulosa yang terdapat pada kulit kopi dapat digunakan untuk pembuatan karbon aktif (Admaja, 2020).

**Tabel 2.2** Sumber Karbon Aktif Lainnya berdasarkan hasil penelitian terdahulu

No	Nama penulis	judul	Sumber karbon aktif
1.	(Siregar dkk., 2015a)	Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan Menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika	Tempurung kelapa, tulang hewan
2.	(Leni dkk., 2015)	Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif	Kulit singkong
3.	(Dewa dkk., 2016)	Potensi bambu swat ( <i>gigantochloa verticillata</i> ) sebagai material karbon aktif untuk adsorbed natural gas (ANG)	Bambu Swat
4.	(Wirosoedarmo dkk., 2016)	Pengaruh Konsentrasi Dan Waktu Kontak Pada Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Karbon Aktif Tongkol Jagung Untuk Menurunkan BOD dan COD	Tongkol jagung
5.	(Mugiono, 2010)	Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Kacang Tanah ( <i>Arachis Hypogaea</i> ) Dengan Aktivator Asam Sulfat	Kulit kacang tanah

## 6. Karakteristik Karbon Aktif

Karakteristik karbon aktif bertujuan untuk mengetahui bahwa karbon aktif yang dibuat pada penelitian sesuai dengan karbon aktif yang mengacu pada SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Karakterisasi yang diuji yaitu kadar air, kadar abu, dan karbon aktif murni (Siregar dkk., 2015).

### 1) FTIR

Spektrofotometri Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan metode pengukuran secara spektroskopi untuk mendeteksi struktur senyawa. Pada pengukuran sampel

menggunakan instrumen spektrofotometer FTIR, hasil yang akan diperoleh berupa spektrum. Berdasarkan spektrum tersebut, dapat dilakukan identifikasi senyawa baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Dewa dkk., 2023). Prinsip Kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. *Infrared* yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel (Wulan Sari dkk., 2018). Serapan IR pada gugus fungsi khas karbon dapat dilihat pada tabel 2.3.

Table 2. Parameters of the functional groups containing carbon in  $^{13}\text{C}$  NMR of lignite.

Peak number	Chemical shift (ppm)	Proportion (%)	Functional group
1	6.41	2.28	Lipid methyl carbon $f_{al}^*$
2	13.45	4.30	Lipid methyl carbon $f_{al}^*$
3	20.76	6.97	Aromatic methyl carbon $f_{al}^*$
4	28.77	13.27	Methylene carbon $f_{al}^{**}$
5	37.82	8.45	Methylene carbon $f_{al}^{**}$
6	47.12	3.06	Methylene carbon $f_{al}^{**}$
7	53.11	1.64	Oxygen-containing fatty carbon $f_{al}^{co}$
8	75.43	0.66	Oxygen-containing fatty carbon $f_{al}^{co}$
9	104.89	3.42	Protonated aromatic carbon $f_{ar}^{**}$
10	113.56	4.51	Protonated aromatic carbon $f_{ar}^{**}$
11	119.93	5.48	Protonated aromatic carbon $f_{ar}^{**}$
12	128.09	17.67	Protonated aromatic carbon $f_{ar}^{**}$
13	136.24	6.55	Bridging aromatic carbon $f_{ar}^b$
14	144.12	8.64	Alkylated aromatic carbon $f_{ar}^b$
15	157.01	5.71	Oxygen aromatic carbon $f_{ar}^p$
16	171.53	0.83	Carboxyl $f_{c}^c$
17	181.72	1.67	Carboxyl $f_{c}^c$
18	200.01	1.25	Carbonyl $f_{c}^c$
19	208.43	2.54	Carbonyl $f_{c}^c$
20	214.58	1.20	Carbonyl $f_{c}^c$

Tabel 2.3 Tabel Serapan IR pada gugus fungsi khas karbon

## 2) Furnace

Furnace bertujuan untuk menaikkan suhu pada suatu objek dengan menggunakan panas dari pembakaran bahan bakar. Furnace digunakan untuk menghasilkan energi panas dan mencapai pembakaran (Agil dkk., 2021). Hasil akhir dari proses

pembakaran atau furnace adalah karbon, rendemen dari karbon tersebut akan dihitung dengan tujuan untuk mengetahui berapa banyak ekstrak yang didapatkan dari sampel yang digunakan (Eka Kusuma & Ayuningtiyas Aprileili, 2022).



**Gambar 2.5** Electircal Horizontal Furnace

### **3) Spektrofotometer Sinar Tampak (Vis-Spektrophotometer)**

Spektrofotometer Sinar Tampak (Vis-Spektrophotometer) berfungsi sebagai penganalisis konsentrasi zat warna dengan panjang gelombang tertentu, sehingga didapatkan nilai konsentrasi zat warna (Kusmiyati dkk., 2009). Nilai dari zat warna ditentukan berdasarkan absorbansi yang dihasilkan pada proses analisis menggunakan alat (Vis-spektro).



**Gambar 2.6** Spektrofotometer Sinar Tampak (Vis-Spektrophotometer)

### C. Kopi

Kopi merupakan bagian dari komoditi perkebunan yang memiliki tingkat nilai ekonomis yang tinggi dibandingkan beberapa tanaman perkebunan lainnya, dan berperan penting sebagai sumberdaya keuangan bagi satu setengah juta jiwa petani kopi di Indonesia (Marhaenanto dkk., 2015). Berdasarkan data (Ditjenbun, 2021) perkembangan kopi di Indonesia meningkat. Hal ini dapat dilihat berdasarkan produksi tahun 2016 produksi kopi sebesar 663.871 ton, produksi tersebut meningkat menjadi 765.415 ton pada tahun 2021 atau mengalami kenaikan sebesar 101544 dalam kisaran 6 tahun, yaitu tahun 2016 hingga tahun 2021.



**Gambar 2.7** Gambar Kebun Kopi

Kopi yang digunakan adalah biji dari buah kopi yang diolah agar nantinya dapat dikonsumsi dalam bentuk serbuk. Pengolahan biji kopi ini setelah biji kopi dipisahkan dari buahnya dijemur hingga kering, setelah kering biji kopi tersebut akan digongseng atau dilakukan pemanasan hingga menghitam, setelah biji kopi menghitam biji tersebut akan dihaluskan menjadi serbuk yang dimana serbuk akan dapat dibuat menjadi minuman yang disukai banyak orang, dan dapat dijual belikan (Novita dkk., 2010).

Kulit kopi merupakan suatu limbah di perkebunan kopi. Limbah kulit kopi belum dapat dimanfaatkan secara optimal (Tandigau dkk., 2015). Penati kopi biasanya menjadikan kulit kopi tersebut sebagai pupuk pada tanaman lain, yang dimana akan menyuburkan tanah dan menghasilkan tanaman yang baik (Aidilof dkk., 2023).

Beberapa bagian kopi dapat dijadikan sebagai karbon aktif diantaranya ampas kopi, kulit kopi, dan cangkang kopi. Ampas kopi dapat dijadikan sebagai karbon aktif dikarenakan tingginya kadar karbon yang dimilikinya yaitu sebesar 47,8-58,9% (Oko dkk., 2021). Sedangkan kulit tanduk kopi dapat dijadikan sebagai karbon aktif karena memiliki kadar karbon 45,3% (Elinda, 2019). Sedangkan cangkang kopi bisa digunakan sebagai karbon aktif dikarenakan mengandung 65,2% serat selulosa yang dapat digunakan sebagai pendukung penyerapan logam (Ayunda dkk., 2019).

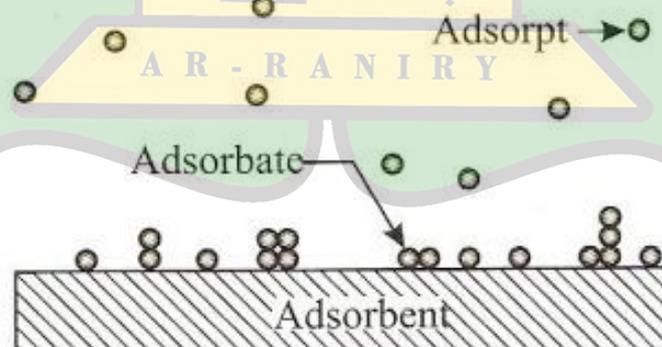
#### **D. Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan suatu proses kimia maupun fisika yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat pada suatu padatan atau cairan (disebut: zat

penyerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan film (disebut: zat terserap, adsorbat) pada permukaannya (Abdi dkk., 2018). Adsorpsi kimia adalah reaksi yang terjadi antara zat padat dengan zat terlarut yang teradsorpsi (Sari dkk., 2019).

### 1. Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme adsorpsi digambarkan sebagai proses dimana molekul yang semula ada pada larutan, menempel pada permukaan zat adsorben secara fisika. Suatu molekul dapat teradsorpsi jika gaya adhesi antara molekul adsorbat dengan molekul adsorben lebih besar dibandingkan dengan gaya kohesi pada masing-masing molekul ini. Proses adsorpsi biasanya dilakukan untuk mengurangi senyawa organik yang terdapat dalam limbah cair, sehingga limbah cair dapat dimurnikan. Proses adsorpsi terjadi karena adanya luas permukaan, makin luas permukaan adsorben yang disediakan maka makin banyak molekul yang diserap (Wijayanti dkk., 2019).



**Gambar 2.8** Mekanisme Adsorpsi

Luas permukaan adsorben menjadi salah satu faktor, dimana semakin luas permukaan adsorben maka akan semakin banyak zat yang dapat teradsorpsi (Syauqiyah dkk., 2011). Luas permukaan berdasarkan luas permukaan adsorben, terdapat 3 jenis mekanisme adsorpsi yaitu:

**a. Mekanisme mikropori**

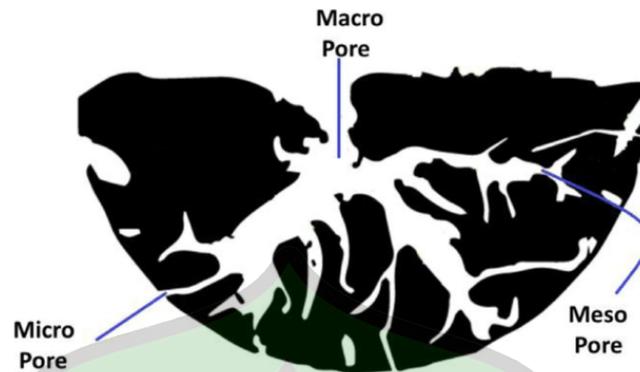
Mekanisme mikropori adalah mekanisme yang memiliki pori yang kecil. Ukuran pori-pori mikropori yaitu  $< 2\text{nm}$  (Tyassena, 2015).

**b. Mekanisme mesopori**

Mekanisme mesopori adalah mekanisme yang memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan dengan luas permukaan adsorben alam. Sehingga permukaan pada adsorben dan adsorbat akan semakin luas. Mekanisme mesopori ditandai dengan ukuran pori pori yang besar yaitu 2-50 nm (Purbaningtias dkk., 2017).

**c. Mekanisme Makropori**

Mekanisme makropori memiliki pori yang lebih besar, sehingga penyerapan akan lebih mudah dan tidak memiliki hambatan. Ukuran pori-pori makropori yaitu berkisar 50 nm (Tyassena, 2015).



**Gambar 2.9** Mekanisme mikropori, makropori, dan mesopore

### **E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan proses pemisahan limbah atau zat pengotor dengan cara mengikat partikel pengotor pada permukaan rongga adsorben yang mengandung gugus aktif (Yuni 2021). Faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi adalah:

#### **1. Waktu Kontak**

Waktu kontak memungkinkan proses difusi dan menempelnya adsorbat dengan baik. Variasi waktu kontak menjadi salah satu acuan untuk menentukan bagaimana kapasitas dari suatu arang aktif, dimana semakin lama waktu yang diberikan maka akan semakin banyak pula adsorbat yang dapat teradsorpsi pada pori-pori karbon aktif (Anggraini, dkk., 2017).

#### **2. Karakteristik Adsorben**

Ukuran partikel menjadi syarat yang penting dari suatu arang untuk dapat digunakan sebagai adsorben. Ukuran partikel arang mempengaruhi kecepatan adsorpsi. Arang aktif akan digerus menggunakan ayakan dengan ukuran 100 mesh, hal ini dilakukan agar proses penyerapan adsorben terhadap

adsorbat semakin cepat karena semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan dari adsorben akan semakin luas (Nurhasni, dkk., 2012).

### **3. Luas Permukaan**

Semakin luas permukaan dari adsorben maka akan semakin banyak adsorbat yang dapat diserap untuk membuat adsorpsi semakin efektif. Semakin kecil ukuran partikel dari adsorben maka semakin luas permukaannya. Semakin besar luas permukaannya, maka akan semakin banyak pori yang terbentuk. Maka iodine yang terserap akan semakin banyak pula (Yuningsih, dkk., 2016).

### **4. Kelarutan Adsorbat**

Kelarutan dari zat terlarut menjadi salah satu penentuan kesetimbangan adsorpsi. Pada umumnya larutan yang bersifat hidrofilik akan lebih sukar untuk di adsorpsi dibandingkan dengan larutan yang bersifat hidrofobik (Raditya & Hendiyanto, 2017).

### **5. Ukuran adsorbat**

Ukuran molekul sangat penting pada proses adsorpsi, karena akan mudah diserap jika memiliki ukuran molekul yang kecil. Ukuran partikel yang kecil akan menyebabkan luas permukaan kontak antara adsorben semakin besar, sehingga proses adsorpsi akan berjalan cepat. Contohnya seperti biosorpsi kulit buah kopi arabika Tandigau dkk.,(2015). Sedangkan ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan porinya akan menyebabkan rendahnya kecepatan adsorpsi yang akan terjadi. Contohnya terjadi pada arang aktif tempurung kelapa.

## 6. pH

pH menjadi suatu pengaruh, karena pH mengadsorpsi ion hidrogen dengan kuat, dan pH juga mempengaruhi adsorpsi dari beberapa senyawa. Seperti asam organik lebih mudah diadsorpsi dengan pH rendah, sedangkan basa organik (NaOH) diadsorpsi dengan pH tinggi (Nurhidayati dkk., 2020). Kapasitas penyerapan sangat dipengaruhi oleh pH dimana pada pH rendah akan menyebabkan bertambahnya jumlah ion  $H^+$  (Nasruddin dkk., 2017).

## 7. Temperatur Adsorpsi

Temperatur mempengaruhi kecepatan dari proses adsorpsi, dimana dengan meningkatnya temperatur akan mempercepat terjadinya adsorpsi. Efisiensi terhadap temperatur bergantung pada tinggi dan rendahnya temperatur, dimana semakin tinggi temperatur maka akan semakin kecil juga kapasitas adsorpsi maksimumnya (Nurhasni, Firdiyono, 2012).

## F. Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif

Kapasitas adsorpsi menyatakan banyaknya adsorbat yang mampu terakumulasi pada permukaan adsorben sehingga ketika proses adsorpsi berlangsung pada kondisi optimum maka akan diperoleh arang aktif dengan kapasitas adsorpsi yang maksimum (Aisyahlika dkk., 2018). kapasitas adsorpsi dari karbon aktif dapat diukur dengan spektrofotometer Uv-vis dengan adsorbat adalah larutan metilen biru. Banyaknya larutan metilen biru. Banyaknya larutan metilen biru yang dapat diserap oleh karbon aktif akan dinyatakan sebagai kapasitas dari karbon aktif, dan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{M} \quad 2.1$$

Keterangan:

$C_o$  = Konsentrasi awal larutan metilen biru (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

M = Berat Adsorben (g)

V = Volume Larutan (L)

(Anggriani dkk., 2021)

Untuk menghitung berapa persentase efisiensi dari adsorpsi (%EA) dapat digunakan Persamaan 2.2.

$$\%EA = \frac{(C_{awal} - C_{akhir})}{C_{awal}} \times 100\% \quad 2.2$$

Keterangan:

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

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

(Anggriani dkk., 2021)

### G. Penentuan Isothermal Adsorpsi

Model isoterm Freundlich mengatakan bahwa adanya suatu proses adsorpsi yang terjadi pada lapisan multilayer, model isoterm freundlich ini memberikan hubungan antara konsentrasi padat dan cair (Huseini dkk., 2018). Model isoterm

freundlich dapat dilihat pada plot  $\ln C_e$  terhadap  $\ln q_e$ . Persamaan model isoterm freundlich dapat dilihat dengan menggunakan persamaan 2.3 berikut:

$$\ln q_e = \log K_f = \frac{1}{n} \ln C_e \quad 2.3$$

Keterangan:

$q_e$  = jumlah metilen biru yang teradsorpsi (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

$K_f$  = Konstanta Freundlich (nilai *Intercept*) (mg/L)

$n$  = intensitas adsorpsi (nilai *slope*)

(Nurhidayati, dkk., 2022).

Model Isoterm Langmuir mengatakan bahwa adanya proses yang terjadi pada lapisan permukaan karbon (Reza Huseini dkk., 2018). Model isotherm Langmuir dapat dilihat melalui hubungan plot  $1/C_e$  terhadap  $1/Q_e$ . Nilai  $q_{max}$  merupakan nilai dari slope. Sedangkan  $K_L$  merupakan nilai dari intercept. Nilai  $n$  merupakan nilai dari slope. Sedangkan  $K_f$  merupakan nilai dari intercept. Isoterm Langmuir memiliki persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{max} C_e} + \frac{1}{q_{max}} \quad 2.4$$

Keterangan:

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

$C_e$  = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

$K_L$  = Koefisien energi adsorpsi (nilai intercept) (L/mg)

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

(Nurhidayati, dkk., 2022).

Model Isoterm Temkin Mendeskripsikan bahwa adanya interaksi antara adsorben dan adsorbatnya. Model isoterm temkin ini dapat diketahui dengan melihat hubungan plot  $\ln C_e$  terhadap  $q_e$ . Persamaan linear dari kurva dapat diarahkan pada persamaan 2.5 berikut:

$$q_e = \frac{RT}{bt} \ln(AT) + \frac{RT}{bt} \ln(C_e) \quad 2.5$$

Keterangan:

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

$C_e$  = Konsentrasi setelah adsorpsi (mg/L)

$AT$  = Konstanta isoterm temkin  $L/\mu\text{mol}$

$bt$  = Konstanta serapan panas (J/mol)

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

$T$  = temperatur (298 K)

(Ikrima dkk., 2020).

## H. Penentuan Kinetika Reaksi

Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben. Kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat dilihat dari aju adsorpsinya (Meila Anggriani dkk., 2021).

Kinetika reaksi adsorpsi terbagi kepada dua bagian, yaitu reaksi orde satu dan reaksi orde dua. Reaksi orde satu adalah reaksi yang kecepatannya tergantung pada salah satu zat yang bereaksi atau sebanding lurus dengan jumlah pereaksinya.

Sedangkan reaksi orde dua adalah reaksi yang kecepataannya berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi dua reaktan atau berbanding dengan kuadrat konsentrasi salah satu pereaksinya (Sanjaya & Agustine, 2015).

Penentuan Kinetika reaksi dapat ditentukan melalui proses pendekatan orde reaksi satu dan dua, orde ini dapat ditentukan melalui persamaan garis lurus dengan menggunakan nilai koefisien korelasi (R) yang mendekati angka 1 (Anggriawan dkk., 2021).



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### A. Garis Besar Penelitian

Secara umum, penelitian ini meliputi lima tahap, yaitu preparasi sampel, karbonisasi, aktivasi, proses karakterisasi yang meliputi uji rendemen, kadar air, kadar abu, dan karakterisasi gugus fungsi menggunakan spektrofotometer FTIR. Tahap terakhir adalah pengujian daya serap (adsorpsi) yang terdiri dari kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi zat warna metilen biru oleh KAKK (karbon aktif kulit kopi menggunakan alat Spektrofotometer Sinar Tampak (vis-spektr))

### B. Alat dan Bahan

#### 1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanur (*furnace*), alu dan mortar, neraca analitik, batang pengaduk, desikator, stopwatch, ayakan dengan ukuran 80 -100 *mesh*, gelas kimia, labu ukur, pipet ukur, gelas ukur, labu Erlenmeyer, pipet tetes, cawan porselen, perangkat soxhletasi, oven, *hot plate*, Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan Spektrofotometer Sinar Tampak (Vis-Spektr). Untuk spesifikasi setiap alat yang dipakai dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Alat

No.	Nama alat	Spesifikasi
1.	Spektroskopi <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	- Tipe detector LiTaO3 - Jangkauan operasi 5-45°C - Portabel

No.	Nama alat	Spesifikasi
2.	Spektrofotometer Sinar Tampak (Vis-Spektra)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Akurasi panjang gelombang</li> <li>- Akurasi fotometrik 1.DA</li> <li>- Akurasi Fotometrik 2.OA</li> </ul>
3.	Electircal Horizontal Furnace	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1700°C suhu pengoperasian maksimum.</li> <li>- Lapisan ganda struktur pendingin udara paksa, suhunya kurang dari 60 °C.</li> <li>- desain tabung tungku dengan pemasangan horizontal,</li> </ul>

## 2. Bahan

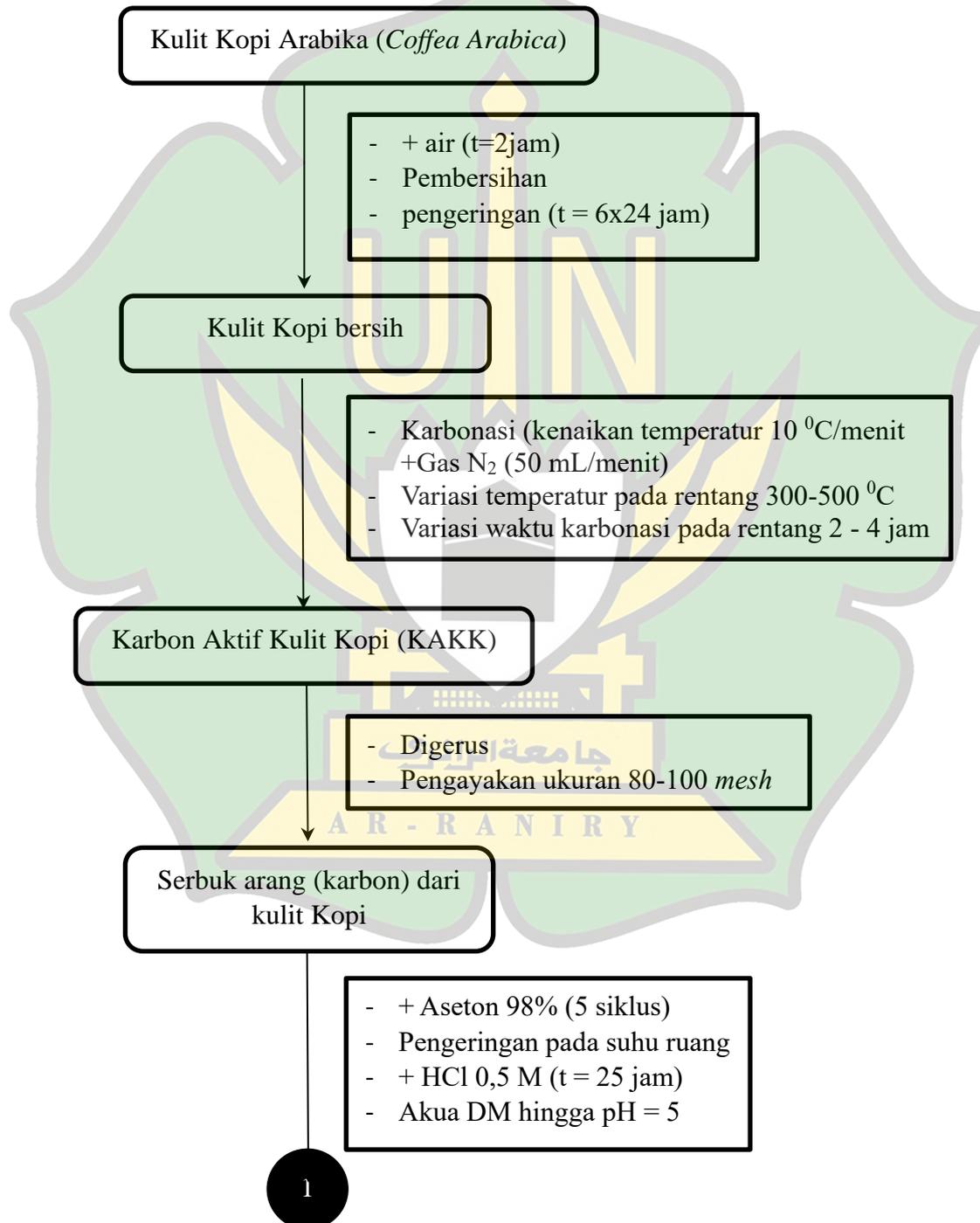
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah kulit kopi, sampel zat warna metilen biru sebanyak 1 gram, aseton 98%, aqua DM, larutan asam klorida (HCl) 1 M, dan gas Nitrogen (N<sub>2</sub>) dan kertas saring.

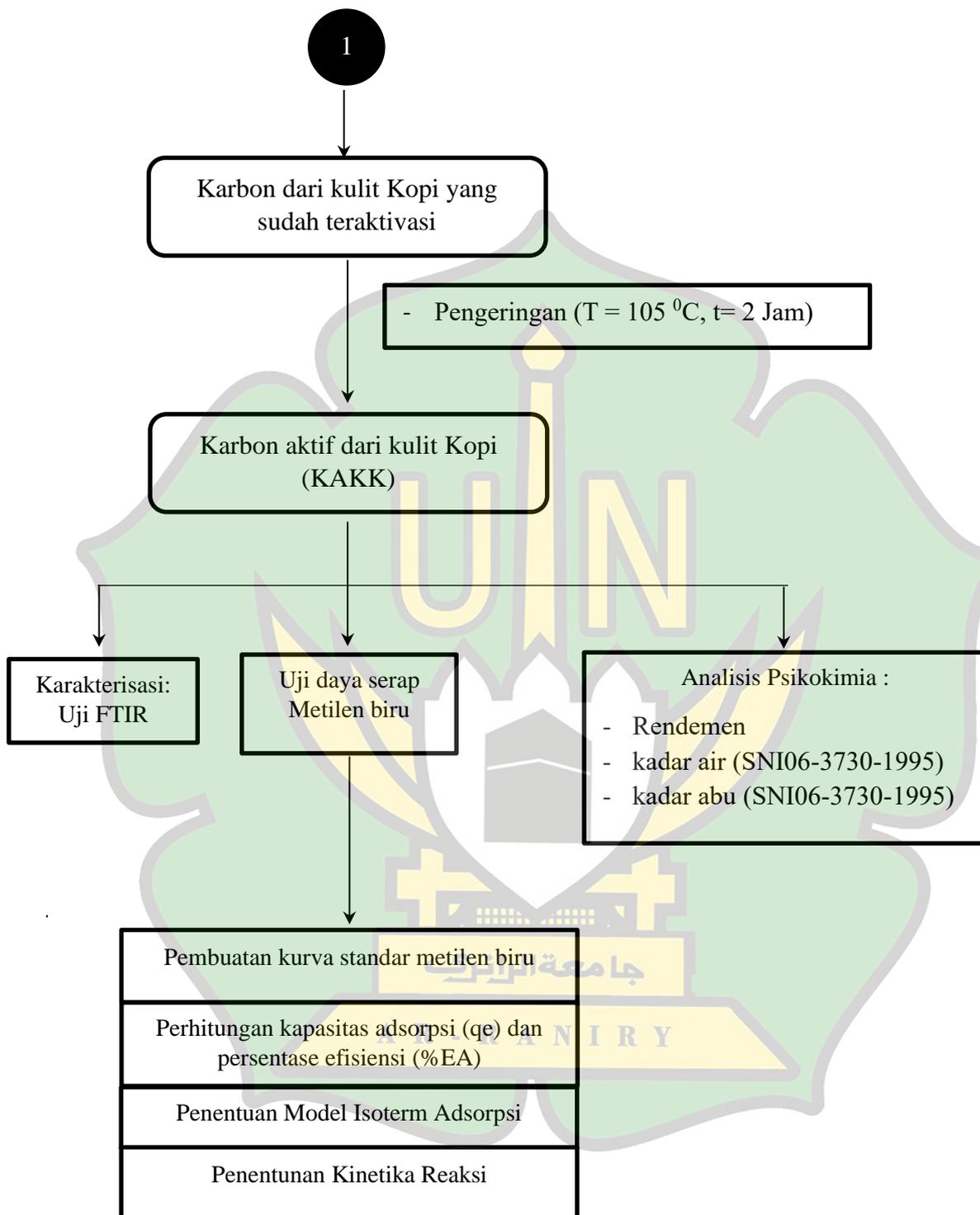
## C. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama tiga bulan yang dimulai dari bulan April 2023 sampai dengan bulan November 2023. Pengambilan sampel kulit kopi dilakukan di kota Takengon Kabupaten Aceh Tengah. Proses pembersihan, pengeringan, dilakukan di kota Takengon Kabupaten Aceh Tengah. Proses karbonisasi serta pengujian kadar abu menggunakan tanur (*furnace*) dilakukan di laboratorium Sumber Daya dan Energi Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala. Karakterisasi gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR dilakukan di Laboratorium Multifungsi Kimia Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry. Proses aktivasi, pengeringan karbon serta uji rendemen, kadar air dan daya serap metilen biru dengan menggunakan instrumen UV-Vis dilakukan di laboratorium kimia FTK, UIN Ar-Raniry.

#### D. Prosedur Kerja

Pada bagian ini akan diuraikan prosedur kerja dari penelitian yang di sajikan dalam bentuk sebuah bagan alir, adapun bagan alir tersebut adalah sebagai berikut. dalam bentuk sebuah bagan alir, adapun bagan alir tersebut adalah sebagai berikut.





**Gambar 3.1** Bagan alir pembuatan dan pengujian karbon aktif kulit kopi (KAKK)

## 1. Preparasi Sampel

Proses preparasi sampel ini merupakan tahapan awal yang harus dilakukan untuk menghilangkan segala zat pengotor pada kulit kopi. Proses preparasi sampel dilakukan dengan pencucian kulit kopi yang di ambil dari petani, pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran, sisa daging buah, serta getah yang terdapat pada selaput kopi tersebut. Sampel yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif merupakan limbah biomassa yang mengandung banyak selulosa dari limbah kulit kopi. Kulit kopi mengandung 63% selulosa, 2,3% hemiselulosa, 17% protein, 1,8-8,56% tanin, dan 6,5% pektin (Zulnazri dkk, 2022). Proses pencucian di lakukan dua kali dan di akhiri dengan pengeringan pada kulit kopi yang sudah ditiriskan ini dilakukan dengan cara diangin-anginkan atau dijemur tidak dibawah sinar matahari langsung.

## 2. Karbonisasi Kulit Kopi

Pada proses pembuatan karbon aktif, proses karbonisasi ini menjadi hal yang sangat penting dimana proses ini dilakukan untuk mengubah limbah biomassa menjadi karbon aktif. Melalui proses tersebut terjadi transformasi dari selulosa menjadi zat anorganik (karbon) tanpa melibatkan oksigen. Secara lebih spesifik proses karbonisasi dilakukan untuk memecah rantai karbon dari senyawa yang lebih kompleks sehingga menyebabkan pori-pori melebar dan menghasilkan pori-pori baru pada elektroda karbon aktif (Gina dkk, 2022). Karbonisasi merupakan suatu proses dekomposisi zat organik tanpa atau sedikit oksigen menggunakan temperature tinggi menjadi residu

berupa zat karbon dengan menggunakan bantuan alat furnace. Karbonisasi dilakukan dengan membakar kulit kopi untuk menghilangkan kandungan air dan material lain dari kulit kopi yang tidak dibutuhkan oleh arang seperti hidrogen dan oksigen atau material yang menguap. Suhu pada proses karbonisasi ini adalah  $350^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam, pada saat karbonisasi luas permukaan terbuka namun penyerapan masih relatif rendah. Penyerapan yang rendah disebabkan oleh adanya residu yang menutupi pori pori (Pambayun dkk., 2013).

Kulit kopi di furnace dibantu dengan gas  $\text{N}_2$ , gas  $\text{N}_2$  berfungsi sebagai penstabil permukaan karbon agar tidak menjadi abu (Tiwari dkk., 2018). Penggunaan gas Nitrogen ( $\text{N}_2$ ) ini dialirkan sebanyak 50 ml/ menit. Agar dapat mengurangi kadar oksigen selama proses karbonisasi berlangsung yang berfungsi sebagai penstabil permukaan karbon agar tidak menjadi abu (Tiwari dkk., 2018).

Kulit kopi yang akan di karbonisasi sebelum di karbonisasi menggunakan furnace dilakukan variasi terhadap suhu yang akan digunakan dan waktu. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan suhu dan waktu optimum. Variasi suhu dilakukan dengan memvariasi suhu dari  $300^{\circ}$ ,  $350^{\circ}$ ,  $400^{\circ}$ ,  $450^{\circ}$ , hingga  $500^{\circ}$  selama 3 jam untuk memperoleh temperatur optimum. Kemudian dilakukan variasi waktu terhadap waktu optimum yang ditemukan yaitu selama 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, 3,5 jam dan 4 jam. Semakin tinggi suhu karbonisasi, maka akan semakin rendah rendemen dari karbon aktif kulit kopi.

Hal tersebut menunjukkan bahwa pada suhu yang tinggi banyak kandungan karbon aktif dari kulit kopi yang terbakar, sehingga membuat rendemennya menurun, kecenderungan penurunan rendemen pada suhu lebih tinggi dan waktu pemanasan yang lebih lama dapat di jelaskan dengan terjadinya reaksi komponen karbon dengan sampel oksigen (pemanasan tidak dilakukan dalam atmosfer inert/oksigen terbatas) (Jaya & Khair, 2020).

Setelah didapatkan suhu optimum. Kulit kopi kembali dilakukan pengujian kembali terhadap waktu karbonisasi, proses pengujian waktu karbonisasi dilakukan dengan cara memvariasi waktu karbonisasi dengan suhu optimum. Variasi waktu yang dilakukan yaitu, selama 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, 4 jam, 4,5 jam. Waktu optimum dilihat pada sedikitnya kadar rendemen, kadar air dan kadar abu. Kadar abu adalah jumlah kandungan mineral yang terkandung dalam karbon aktif sehingga hasil akhir dari proses pengujian kadar abu adalah abu yang berupa oksida logam dalam karbon yang terusun atas mineral yang tidak menguap pada proses pengabuan. Sehingga semakin kecil kadar abu maka akan semakin baik pula daya serap dari karbon aktif, sedangkan sebaliknya jika kadar abu yang tinggi dapat menyebabkan menguranya daya serap dari karbon tersebut (Dewi dkk., 2020).

Variasi suhu dan waktu yang dilakukan dapat ditentukan bahwa kandungan air dan beberapa senyawa lain yang mudah menguap dan mudah hilang sehingga akan membentuk pori-pori karbon, bentuk fisik dan warna juga berubah menjadi serbuk yang bewarna hitam (Delviana, 2020).

Setelah didapatkan suhu dan waktu optimum karbon dapat di buat sesuai kebutuhan yang diperlukan. Karbon yang telah dibuat akan dilakukan proses penggerusan dengan menggunakan ayakan. Proses ini dilakukan agar karbon yang dihasilkan akan mempunyai pori-pori yang luas dan dapat menyerap adsorbat dengan baik (Susilowati, 2016). Kemudian karbon disimpan kedalam botol obat bewarna gelap yang ditutup rapat, serta dihindari dari kontak langsung dengan cahaya matahari.

### **3. Aktifasi Karbon Aktif**

#### **a. Sokletasi**

Metode sokletasi merupakan ekstraksi padat-cair yang berkelanjutan, dikarenakan pelarut yang sama dan dapat dipakai berulang-ulang (Isabel dan Mahfud, 2017). Keuntungan menggunakan metode ini adalah pelarut yang digunakan sedikit. Metode sokletasi ini dilakukan dalam proses pencucian karbon kulit kopi menggunakan pelarut organik yaitu aseton. Pelarut aseton dapat melarutkan sisa-sisa zat organik dalam karbon yang tidak habis terbuang pada saat proses karbonisasi.

Karbonisasi memiliki beberapa tahapan dimana pada suhu 270 °C, selulosa akan mulai terurai/terdegradasi. Pemanasan sampai dengan suhu ini telah di degradasinya komponen helosulosa dan lignin yang menghasilkan produk gas (antara lain CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> dan benzena), dan produk padatan berupa karbon (Suharman & Vinsiah, 2015). Penelitian ini menggunakan suhu karbonisasi yang rendah yaitu

pada suhu 450 °C, sehingga komponen selulosa dan lignin masih belum terurai pada suhu tersebut. Sehingga pada proses pencucian zat-zat sisa pembakaran masih terlarut ke dalam pelarut organik yaitu aseton.

#### **b. Aktivasi Menggunakan HCl**

Aktivasi merupakan proses pembersihan karbon kulit kopi dari senyawa anorganik dan organik yang terdapat dalam pori-porinya. Struktur pori menjadi salah satu faktor Dimana dengan luasnya pori-pori dari karbon aktif akan berpengaruh terhadap daya serap dari karbon aktif tersebut (Wulandari dkk., 2015). Sehingga dengan besarnya pori-pori dari kulit kopi akan mempermudah proses absorpsi. Karbon aktif yang telah didapatkan dilakukan aktivasi menggunakan HCl dengan fungsi untuk menghilangkan sisa abu atau material lain yang masih menempel pada permukaan pori-pori karbon (Wulandari dkk., 2015).

Larutan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 1 M dipilih sebagai aktivator karena larutan tersebut sangat efektif dalam proses pembersihan pori-pori karbon. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bahwa aktivasi ampas kopi menggunakan beberapa jenis aktivator yaitu HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Karbon aktif ampas kopi yang paling baik serapannya terhadap adsorbat adalah yang diaktivasi menggunakan HCl, Selain melarutkan sisa-sisa mineral dalam pori-pori karbon, HCl juga dapat menarik molekul air, sehingga kadar air dalam karbon kulit kopi akan semakin berkurang (Oko dkk., 2021).

Hasil aktivasi menggunakan pelarut organik pada tahap sebelumnya menunjukkan bahwa masih terdapat sisa organik dalam karbon kulit kopi, seperti lignin, sehingga perlu aktivator yang bisa melarutkan sisa zat organik tersebut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perendaman dalam pelarut asam, seperti HCl juga dapat melarutkan lignin (Mukhlis dkk, 2021)

Karbon aktif kulit kopi (KAKK) direndam menggunakan Hidrogen Clorida (HCl) 1 M selama 24 jam. Setelah proses aktivasi kemudian dilanjutkan dengan proses penetralan dengan aquadest hingga pH 6, hal ini berfungsi sebagai menghilangkan zat pengotor setelah proses aktivasi, terutama menghilangkan larutan aktivasi itu sendiri (Pratiwi & Setiorini, 2023). Karbon aktif yang sudah dilakukan proses penetralan kemudian akan di keringkan dengan menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 2 jam (Ridhayanti dkk., 2020) fungsi pengeringan menggunakan oven adalah untuk mengurangi kadar air pada karbon aktif setelah proses pencucian menggunakan aqua DM (Megiyo dkk., 2017). Karbon aktif yang telah didapatkan dapat mengabsorpsi gas dan senyawa tertentu, tergantung dengan besar dan seberapa besar pori-pori dan luas permukaan karbon aktifnya. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat dari karbon aktif (Effendi Arsad, 2010).

Berdasarkan pembuatan karbon aktif, proses aktivasi sangat di perlukan karena pada saat karbonisasi masih terdapat sisa zat organik

yang belum habis dalam pori-pori karbon. Karbon aktif dari limbah biomassa memiliki gugus fungsi yang khas seperti O-H dengan bilangan gelombang pada rentang 3300-2500  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C pada rentang bilangan gelombang 1500-1400, C-H alkil halida pada rentang 1150-1300  $\text{cm}^{-1}$ , C=C aromatik pada rentang 1600-1400, dan C-O pada rentang 1000-1320; (Hevira dkk., 2020).

#### **4. Karakteristik Fourier Transform Infrared (FTIR)**

Uji FTIR (Fourier Transform Infrared) berfungsi untuk melihat gugus fungsi khas yang terdapat pada sampel karbon aktif kulit kopi (Nandiyanto dkk., 2023). Gugus aktif dari arang dapat dilihat dengan menggunakan alat spektrofotometer *fourier Transform Infrared* (FTIR). Zat yang akan diukur dan diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah memiliki fungsi sebagai sumber sinar dan sinar infra merah ini dibagi menjadi dua yaitu sinar yang dilewatkan dan sinar perbandingan. Kemudian dilewatkan melalui *chopper*. Bahan yang masuk pada detektor akan diubah menjadi sinyal listrik yang direkam oleh *recorder* (Aji dkk, 2017).

#### **5. Analisis Fisikokimia Karbon Aktif Kulit Kopi**

Analisis fisikokimia dari karbon aktif kulit kopi mencakup beberapa pengujian, antara lain uji rendemen, kadar air, dan kadar abu

##### **a. Pengujian Rendemen**

Rendemen adalah perbandingan berat kering produk yang dihasilkan dengan berat bahan baku (Sari dkk., 2021) Proses pengujian

rendemen merupakan proses perhitungan kadar karbon aktif yang dibentuk setelah melewati proses karbonisasi dan aktivasi. Rendemen dapat ditentukan dengan cara membandingkan berat karbon aktif hasil dari proses ekstraksi dengan berat awal sampel karbon aktif.

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{berat karbon aktif hasil ekstrak}}{\text{berat awal sampel karbon aktif}} \times 100\% \quad 3.1$$

(Syamsul dkk., 2020)

#### **b. Penentuan kadar air (SNI 06-3730-1995)**

Penentuan kadar air pada KAKK adalah dengan cara menimbang cawan yang berisi karbon aktif 1 gram sebelum dipanaskan pada oven, kemudian dilakukan pemanasan dalam oven dengan suhu 105°C, lalu dilakukan penimbangan kembali cawan yang telah di panaskan. Perhitungan kadar airnya dilakukan menggunakan persamaan:

$$\% \text{ Kadar Air} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad 3.2$$

Dengan:

a = Massa Krusibel + sampel sebelum pemanasan (g)

b = Massa Krusibel + sampel setelah pemanasan (g)

(Legiso dkk, 2019)

#### **c. Penentuan kadar abu (SNI 06-3730-1995)**

Penentuan kadar abu dengan cara menimbang cawan kosong dan berat cawan yang berisi karbon aktif 1 gram dan memanaskannya dalam

furnance dengan suhu 600°C selama 4 jam, kemudian dihitung kadar abunya dengan menggunakan persamaan 3.3

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

Dengan:

$W_{ac}$  = Massa krusibel + sampel abu (g)

$W_c$  = Maasa krusibel

$W_s$  = Massa sampel awal (g)

## 6. Penentuan Daya Serap Dengan Larutan Metilen Biru

### a. Pembuatan Kurva Standar

Kurva standar metilen biru dibuat bertujuan untuk melihat nilai koefisien korelasinnya dimana nilai korelasi sempurna jika nilai  $R^2$  mendekati 1 (Hanum dkk., 2017). pengujian ini memiliki tujuan untuk melihat bagaimana daya serap karbon aktif kulit kopi terhadap zat warna metilen biru dengan cara mengambil 10 mL larutan metilen biru 100 ppm dan diuji panjang gelombang menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis.

Berdasarkan data serapan yang diperoleh dibuat kurva standar yang merupakan plot hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi (Nitsae dkk., 2021). Pembuatan kurva kalibrasi dari larutan standar dilakukan untuk melihat hubungan antara absorbansi dan konsentrasi apakah hubungan keduanya sesuai dengan hukum lambert Beer, hukum

lambert Beer berbunyi dimana inrensitas yang diteruskan oleh suatu larutann (zat) berbanding lurus dengan konsentrasi larutan tersebut.

Hukum lambert Beer yang dimaksud adalah semakin besar konsentrasi dari suatu larutan maka akan semakin besar pula absorbansi yang dihasilkan dari larutan tersebut, pembuatan kurva standar juga bertujuan untuk mendapatkan persamaan regresi linear dari larutan standar metilen biru yang digunakan untuk menentukan konsentrasi larutan metilen biru yang setelah proses adsorpsi (Nurzihan dkk., 2019).

Hasil dari pengukuran variasi metilen biru kemudian dibuatkan kurva kalibrasi konsentrasi larutan standar metilen biru terhadap absorbansi dan akan mendapatkan persamaan linear berikut (Nitsae dkk., 2021):

$$y = ax + b \quad 3.4)$$

Persamaan regresi linear yang diperoleh dari kurva bertujuan untuk menghitung nilai dari konsentrasi metilen biru yang diserap oleh karbon aktif terhadap waktu dan variasi konsentrasi metilen biru menggunakan analisis spektrofotometri UV-Vis (Irawan, 2019).

#### **b. Penentuan Dosis Optimum**

Penentuan dosis optimum merupakan perbandingan antara berat adsorben yang digunakan dengan volume kerja larutan adsorbat pada saat proses adsorpsi. Penentuan dosis optimum dilakukan pada kondisi parameter lainnya diatur tetap (Indah dkk., 2022).

### **c. Penentuan Waktu Optimum**

Penentuan waktu optimum dilakukan agar mendapat waktu optimum dalam proses adsorpsi. Penentuan waktu optimum dilakukan dengan memplotkan grafik antara konsentrasi, persen dan waktu kontak (Gia, 2015).

### **d. Penentuan Model Isotherm Adsorpsi**

Penentuan model isotherm adsorpsi dilakukan dengan cara membuat grafik perbandingan berdasarkan masing-masing model isotherm Freundlich, langmuir dan temkin. Model isotherm adsorpsi dapat ditentukan dengan membandingkan tingkat kelinearan kurva yang di tunjukkan oleh harga  $R^2$  yang mendekati angka 1 (Aditya dkk., 2016).

### **e. Penentuan Kinetika Adsorpsi**

Penentuan kinetika adsorpsi mempunyai peran penting dalam menentukan laju adsorpsi polutan untuk mendesain proses adsorpsi. Isotherm adsorpsi menggambarkan proses distribusi adsorbat antara fase zat cair dan fase zat padat. Kinetika yang akan dilihat dalam penelitian adalah kinetika model *pseudo-orde* satu (*orde satu semu*) dan *pseudo-orde* dua (Winny Kurniawan dkk., 2016).

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Preparasi Sampel

Preparasi sampel dimulai dengan pengumpulan kulit kopi dari beberapa lokasi di daerah Batu Lintang, Takengon, Kabupaten Aceh Tengah. Langkah selanjutnya adalah pembersihan kulit kopi menggunakan air pada suhu ruang untuk membuang lendir serta daging buah yang terkandung dalam kulit kopi. Setelah proses pembersihan selesai, kemudian kulit kopi dijemur tanpa terkena oleh sinar matahari kan pada suhu kamar dan dijaga agar tidak terpapar sinar matahari secara langsung.



**Gambar 4.1** (a) Kulit kopi sebelum pencucian, (b) Pencucian Kulit Kopi, (c) Pengerinan tanpa terkena sinar matahari

Berdasarkan Gambar 4.1 tahap pencucian kulit kopi, dimana gambar (a) menunjukkan kulit kopi yang belum dicuci dan masih memiliki lendir pada bagian dalam kulit kopi dicuci menggunakan air mengalir. Pencucian ini dilakukan

berlulang-ulang sampai lendir di dalam kulit kopi habis. Setelah kulit kopi dicuci dilakukan pengeringan tanpa terkena sinar matahari.

### **B. Karbonisasi Kulit Kopi**

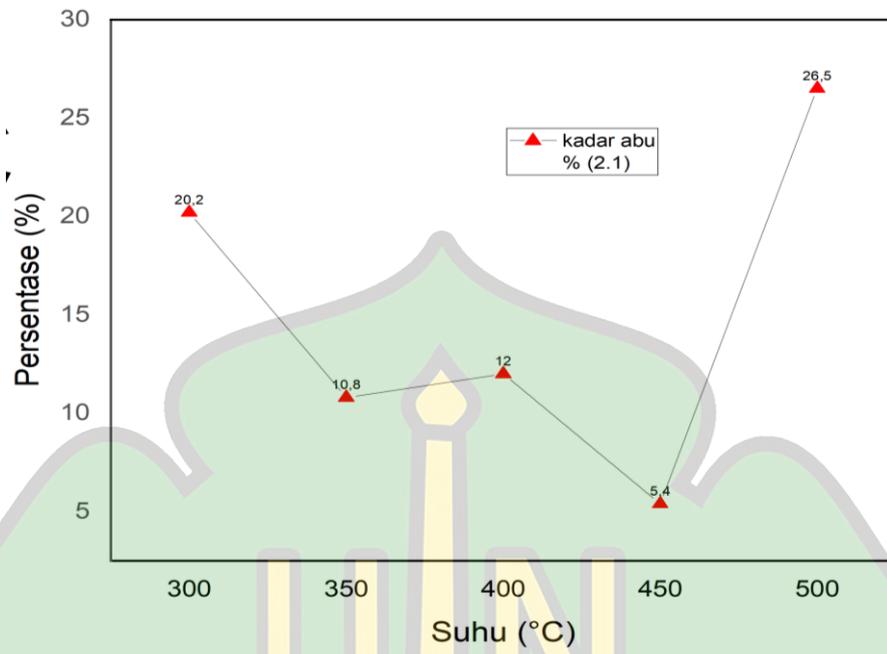
Kulit Kopi yang telah dilakukan proses pencucian dan pengeringan akan dilanjutkan dengan proses karbonisasi. Proses karbonisasi dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Electical Horizontal Furnace (Furnace)*. Proses karbonisasi dilakukan di laboratorium sumber daya energi Fakultas Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala.

### **C. Penentuan Suhu dan Waktu Optimum**

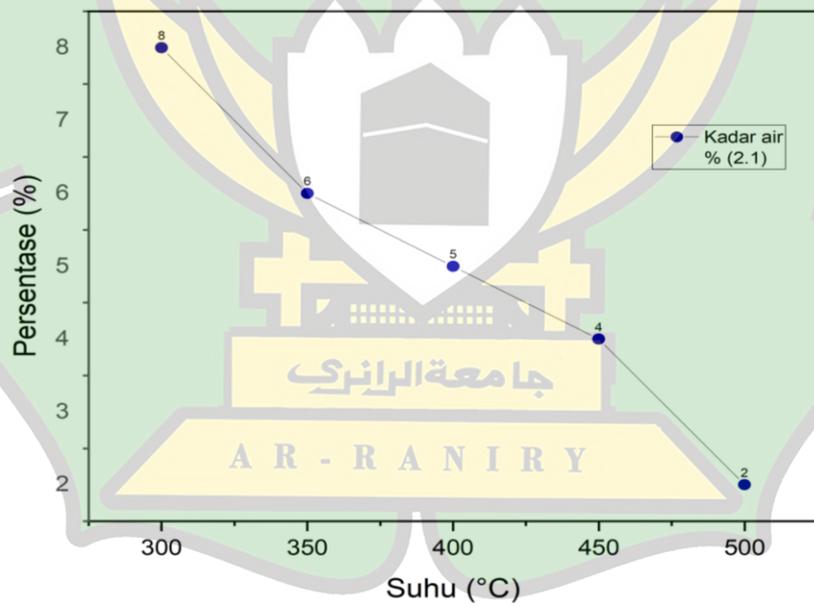
Dalam penelitian ini, dilakukan variasi waktu dan suhu karbonisasi pada beberapa variasi yaitu 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C dengan waktu yang divariasikan seperti 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, 3,5 jam dan 4 jam. Variasi yang dilakukan diharapkan untuk mendapatkan suhu optimum. Mendapatkan suhu optimum pada beberapa variasi yang telah di uji dilakukan pengujian fisikokimia yang dimana meliputi rendemen, kadar air, dan kadar abu. Penentuan suhu optimum dapat dilihat pada gambar 4.2.

جامعة الرانري

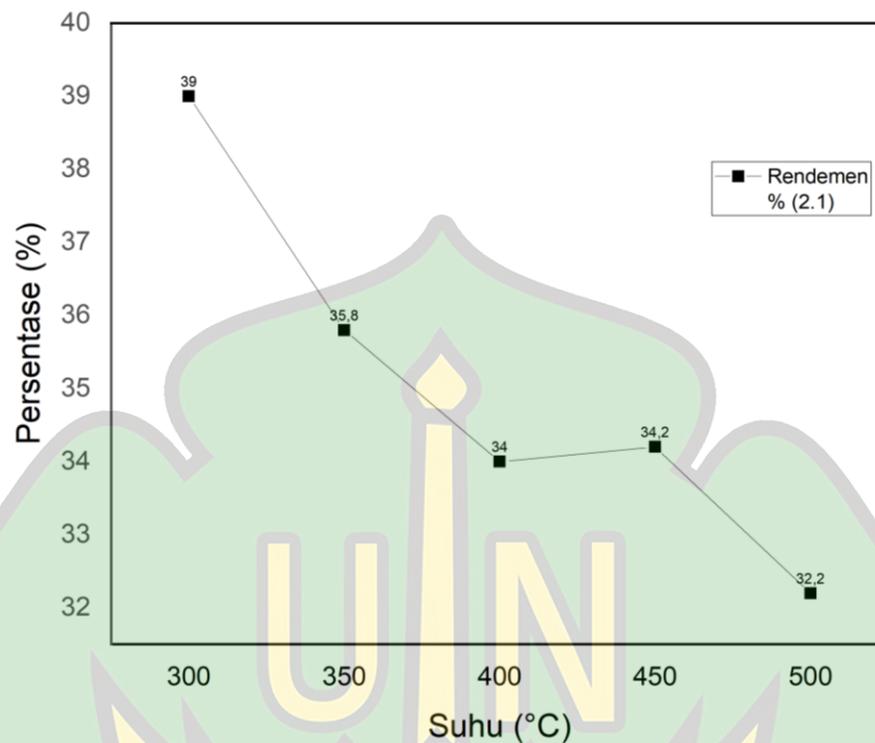
AR - RANIRY



(a)



(b)



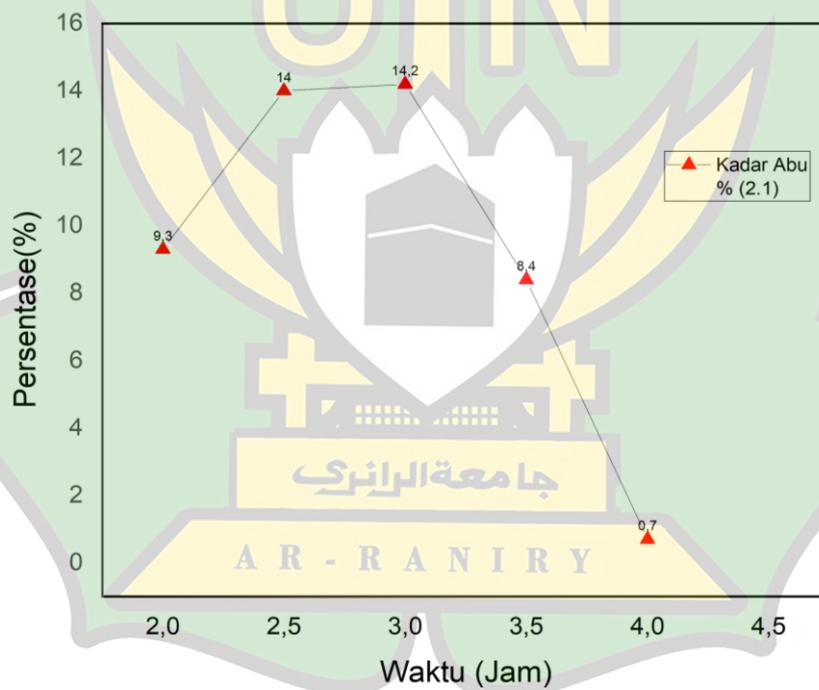
(c)

**Gambar 4.2** (a) Kurva variasi kadar abu terhadap suhu karbonisasi terhadap uji fisikokimia karbon kulit kopi, (b) Kurva variasi kadar air terhadap suhu karbonisasi terhadap uji fisikokimia karbon kulit kopi, (c) Kurva rendemen terhadap uji fisikokimia karbon kulit kopi

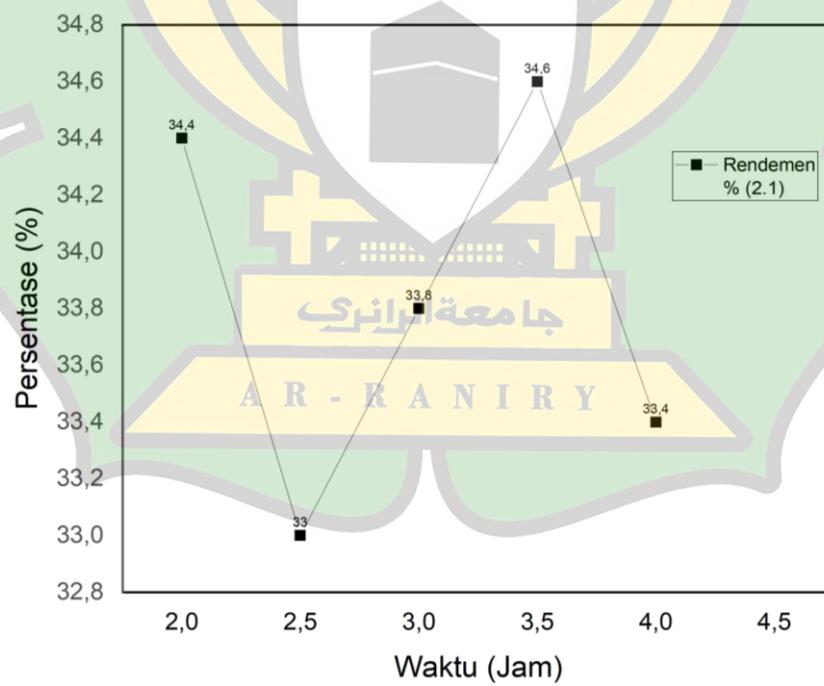
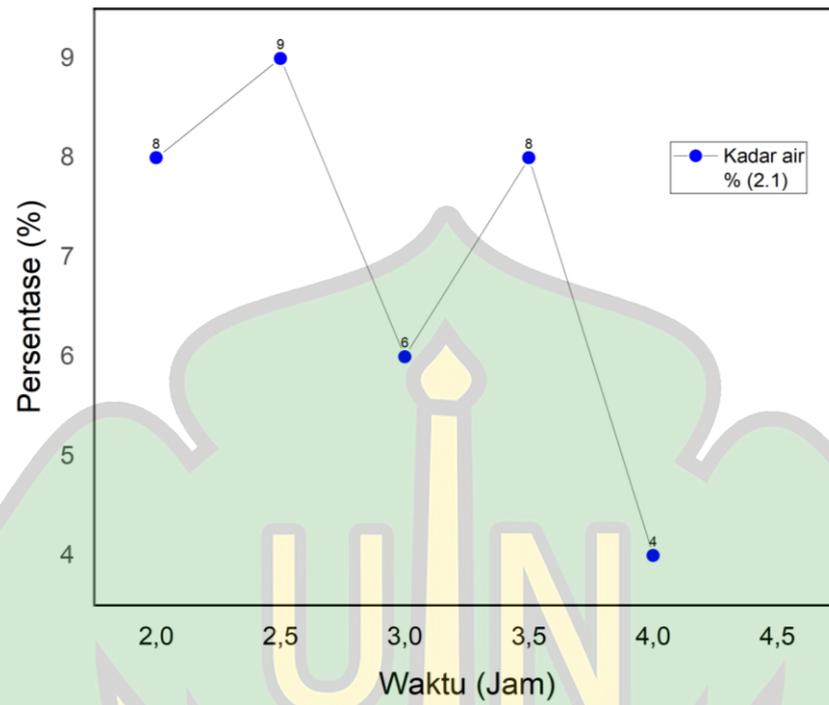
Berdasarkan gambar 4.2 Parameter parameter suhu optimum dapat dilihat dari nilai rendemen, kadar abu dan kadar air. Berdasarkan gambar menunjukkan suhu 300 °C memiliki kadar rendemen paling tinggi yaitu 39% dengan kadar air dan kadar abu yang tinggi pula yaitu 8% dan 20,2%, pada suhu 350 °C memiliki kadar rendemen relatif tinggi yaitu 35,8% dengan kadar air dan kadar abu yang rendah pula yaitu 6% dan 10,8%, pada suhu 400 °C memiliki kadar rendemen yaitu 34% dengan kadar air yang rendah yaitu 5% namun kadar abu yang relatif tinggi pula

yaitu 12%, pada 450 °C memiliki kadar rendemen naik yaitu 34,2%, namun kadar air dan kadar abu yang relative rendah yaitu 4% dan 5%, sehingga dapat dijadikan suhu 450 °C sebagai suhu optimum.

Setelah didapatkan suhu optimum akan dilakukan percobaan terhadap variasi waktu dimana variasi waktu yang digunakan adalah 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, 3,5 jam, 4 jam, 4,5 jam. Variasi yang dilakukan terhadap waktu diharapkan untuk mendapatkan waktu optimum untuk pembuatan karbon aktif. Penentuan waktu optimum dapat dilihat pada gambar 4.3.



(a)



**Gambar 4.3** (a) Kurva variasi kadar abu terhadap waktu karbonisasi terhadap uji

fisikokimia karbon kulit kopi, (b) Kurva variasi kadar air terhadap waktu karbonisasi terhadap uji fisikokimia karbon kulit kopi, (c) Kurva rendemen terhadap suhu karbonisasi terhadap uji fisikokimia karbon kulit kopi

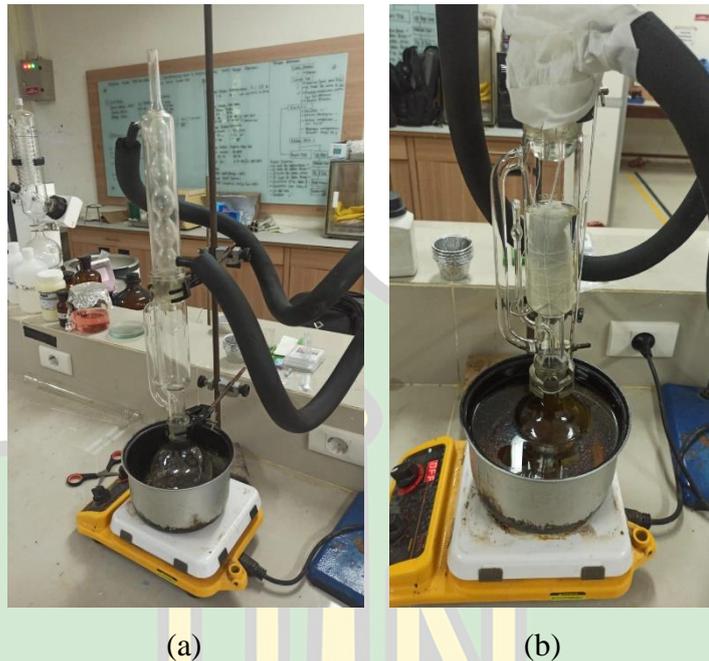
Berdasarkan gambar 4.3 Parameter waktu optimum, juga dapat dilihat berdasarkan nilai rendemen kadar air dan kadar abu. Waktu 4 jam memiliki kadar rendemen relatif rendah yaitu 33,4% dengan kadar abu yang rendah yaitu 0,7% dan kadar airnya 4%. Waktu karbonisasi 4 jam dapat dijadikan sebagai waktu optimum karena kadar rendemen rerlatif rendah dan kadar abu paling rendah.

Kulit kopi yang sudah didapatkan suhu dan waktu optimum, selanjutnya dilakukan pembuatan karbon sebanyak 100 gram. Karbon yang telah dibuat akan dilakukan proses penggerusan dengan ayakan ukuran 80-100 *mesh*. Proses pengayakan berpengaruh terhadap luas permukaan dan ukuran pori yang dimiliki karbon. Kadar karbon yang telah dilakukan proses pengayakan akan disimpan pada botol obat berwarna gelap yang ditutup rapat, serta dihindarkan dari paparan matahari langsung.

#### **D. Aktivasi Karbon Aktif Kulit Kopi**

##### **1. Sokletasi**

Proses sokletasi dilakukan dengan merangkat alat sokletasi. Karbon hasil dari proses pengayakan akan dilakukan pencucian menggunakan aseton 98% dilakukan sebanyak 5 siklus yang ditandai dengan penuhnya larutan pada sifon dan larutan tersebut jatuh ke labu alas hal tersebut ditandai dengan satu siklus. Proses pencucian karbon kulit kopi dapat dilihat pada gambar.4.4.



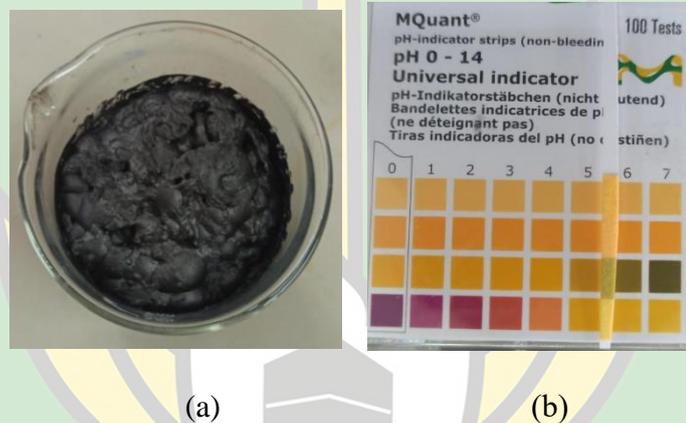
**Gambar 4.4** (a) perangkaian alat sokletasi (b) Proses pencucian karbon kulit kopi menggunakan alat sokletasi

Berdasarkan Gambar 4.4 proses pencucian karbon menggunakan pelarut aseton dapat mengekstraksi sisa zat organik yang terdapat di dalam karbon kulit kopi yang diketahui dengan perubahan warna zat pelarut aseton yang semula putih menjadi kuning dan perlahan-lahan memudar dan kembali ke warna dasar.

## 2. Aktivasi menggunakan HCl

Aktivasi merupakan sebuah proses pembersihan pori-pori karbon kulit kopi menggunakan reagen kimia. Proses ini bertujuan untuk memperbesar pori-pori karbon aktif kulit kopi dan dapat meningkatkan kemampuan karbon kulit kopi sebagai absorben.

Karbon kulit kopi sebanyak 80 gram diaktivasi menggunakan 180 mL HCl 1 M selama 24 jam di dalam gelas kimia dan di simpan pada tempat yang tidak terpapar dengan matahari dan udara. Karbon kulit kopi yang telah diaktivasi selama 24 jam dengan HCl 1 M kemudian dicuci dengan aqua DM dan di netralkan hingga pH 6. Proses aktivasi dan pencucian karbon aktif hingga pH 6 dapat dilihat pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5** (a) Aktivasi Karbon Aktif, (b) pencucian hingga pH 6

Berdasarkan Gambar 4.5 karbon hasil dari aktivasi menggunakan HCl 1M selama 24 jam akan dilakukan pencucian menggunakan aqua DM hingga pH 6. Proses Aktivasi berfungsi sebagai penghilang zat pengotor setelah proses aktivasi, terutama menghilangkan larutan aktivasi itu sendiri (Pratiwi & Setiorini, 2023). Setelah proses penetralan selesai dan pH dari karbon aktif sudah mencapai 6, kemudian dikeringkan karbon aktif menggunakan oven pada suhu 105°C selama 4 jam. Karbon aktif yang sudah dilakukan proses pengeringan akan dilakukan uji kadar air terhadap karbon sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi. Pengujian kadar air dilakukan dengan proses

pemanasan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam untuk melihat kadar air yang dimiliki oleh karbon setelah proses karbonisasi. Pengujian kadar air dapat dilihat pada tabel 4.1.

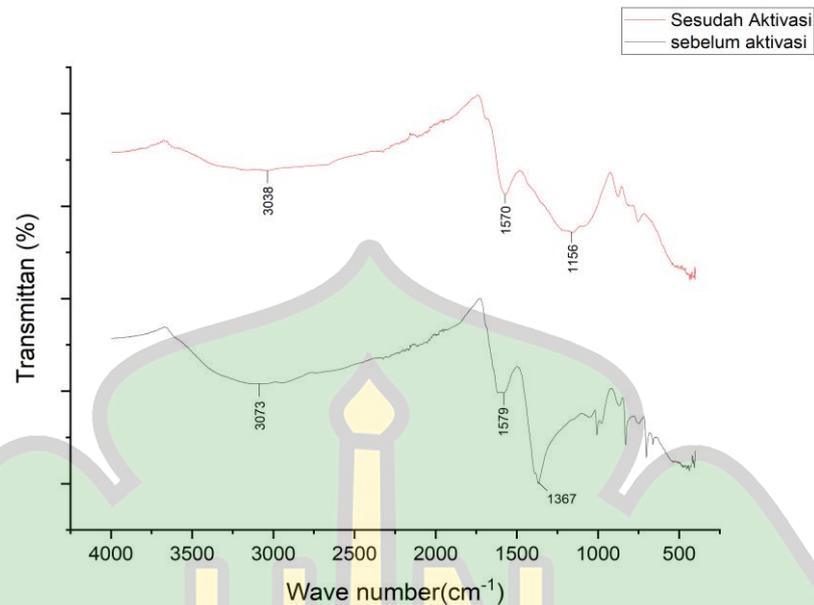
**Tabel 4.1** Kadar air karbon sebelum Aktivasi dan sesudah aktivasi

No	Suhu dan waktu	Massa Sampel	Massa Residu	% kadar air	Status
1.	450°C/ 4 jam	1 gram	0,94 gram	8%	Sebelum aktivasi
2.	450°C/4 jam	1 gram	0,97 gram	4%	Sesudah aktivasi

Berdasarkan data tabel 4.1. kadar air terhadap karbon sebelum aktivasi dapat dilihat bahwa % kadar air setelah aktivasi lebih sedikit dibandingkan dengan % kadar air sebelum aktivasi. Pengaktifasian HCl terhadap karbon menjadi salah satu faktor penurunan kadar air dikarenakan HCl dapat melarutkan sisa-sisa mineral dalam pori-pori. HCl juga dapat menarik molekul air (Oko dkk., 2021).

#### **E. Analisis FTIR (Fourier Transform InfraRed) Karbon Kulit Kopi**

Karbon Aktif kulit kopi dapat dilihat gugus fungsionalnya menggunakan spektrofotometri FTIR. Pada proses adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur pori tetapi juga dipengaruhi oleh sifat kimia permukaannya (Husin & Hasibuan, 2020). Karakterisasi dengan menggunakan FTIR dilakukan pada bilangan gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  (Siregar dkk., 2015). Spektrum FTIR dari karbon kulit kopi sebelum dan sesudah aktivasi dapat dilihat pada gambar.



**Gambar 4.6** Kurva FTIR Karbon Kulit Kopi sebelum dan Sesudah Aktivasi

Berdasarkan gambar 4.6, berdasarkan proses FTIR karbon aktif dari limbah biomassa memiliki gugus fungsi yang khas seperti O-H dengan bilangan gelombang pada rentang 3300-2500  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C pada rentang bilangan gelombang 1500-1400, C-H alkil halida pada rentang 1150-1300  $\text{cm}^{-1}$ , C=C aromatik pada rentang 1600-1400, dan C-O pada rentang 1000-1320 (Hevira dkk., 2020).

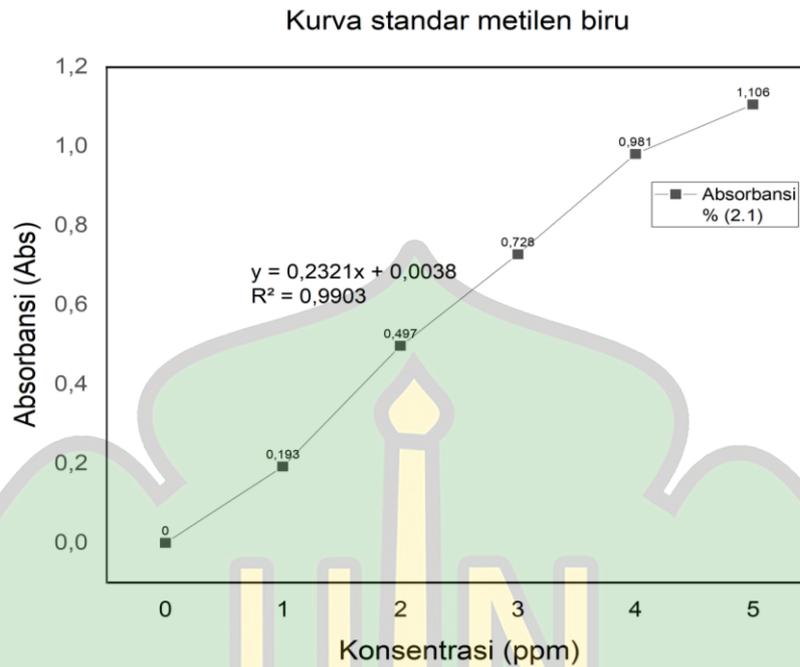
Kurva spektrum FTIR pada gambar 4.6, menunjukkan adanya pergeseran pita serapan karbon sebelum aktivasi yaitu pada bilangan gelombang 1367  $\text{cm}^{-1}$  dan diidentifikasi terdapat renggangan C-H alkil halida pada karbon setelah aktivasi bergeser pada bilangan gelombang 1156  $\text{cm}^{-1}$  yang diidentifikasi terdapat pergeseran unsur C-O. Pergeseran pita serapan selanjutnya terdapat pada bilangan gelombang 1570  $\text{cm}^{-1}$  yang terdapat gugus C=C (Aromatik), serta pergeseran pada bilangan gelombang 3038  $\text{cm}^{-1}$ , yang diidentifikasi terdapat gugus O-H (Hidroksil) (Dachriyanus, 2004).

Pembuatan karbon aktif, memerlukan proses aktivasi karena pada saat proses karbonisasi masih terdapat sisa zat organik yang belum habis menguap pada pori-pori karbon. Proses aktivasi pun menyebabkan pergeseran bilangan gelombang dimana hal ini terjadi karena adanya proses penguraian serta vibrasi sehingga akan mengalami perubahan ikatan pada karbon aktif kulit kopi, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.6, dimana adanya pergeseran pita serapan pada bilangan gelombang  $1367\text{ cm}^{-1}$  (C-H) bergeser ke  $1156\text{ cm}^{-1}$  (C-O) (Lestari & Nasra, 2022)

Proses karbonisasi masih menyisakan lignin dalam karbon kulit kopi yang tidak habis menguap sehingga bersisa zat organik tersebut. Berdasarkan pita serapan pada grafik di atas terdapat gugus fungsi yang menyamai dengan lignin yang terdapat pada gugus C=C dengan bilangan gelombang antara  $1150\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  dan gugus O-H pada bilangan gelombang  $3300\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$ , dimana kedua gugus tersebut pada gambar 5.0, terdapat pada bilangan gelombang  $1570\text{ cm}^{-1}$  dan  $3038\text{ cm}^{-1}$  (Setiati dkk., 2016).

#### **F. Pembuatan Kurva Standar Larutan Metilen Biru**

Kurva standar metilen biru dibuat dengan cara memvariasikan konsentrasi dan dilakukan pengukuran pada tiap-tiap konsentrasi, kemudian hasil dari pengukuran akan di plotkan pada kurva absorbansi (sumbu y) dan konsentrasi (sumbu x) sehingga nanti akan didapatkan nilai regresi linear  $y = ax + b$  yang dapat dilihat pada gambar 5.1



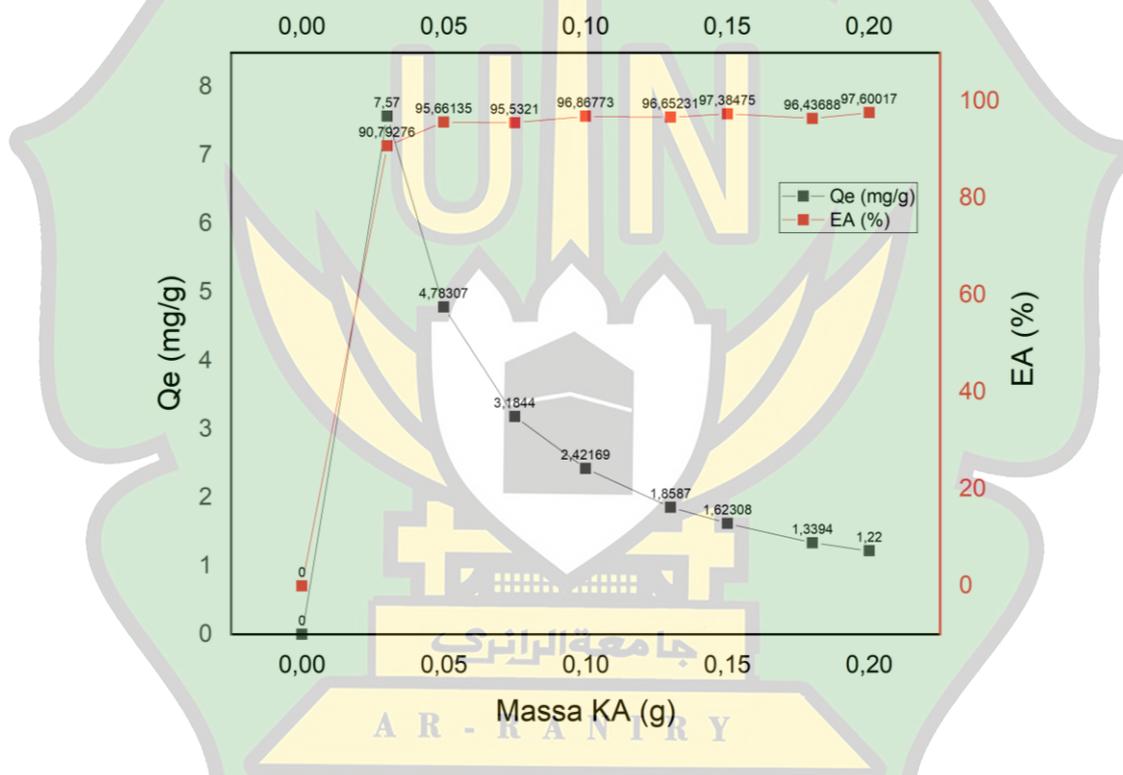
**Gambar 4.7** Larutan Kurva Standar Metilen Biru

Berdasarkan gambar 5.1, diperoleh regresi linear  $y = 0,2321x + 0,0038$  dan  $R^2 = 0,9903$ . Kurva standar metilen biru pada gambar berikut tergolong linear dengan nilai regresi yang hampir mendekati 1. Semakin besar nilai koefisien korelasi yang di dapat maka akan semakin besar pula kelinearan yang didapat. Kisaran kerja yang dihasilkan menunjukkan kondisi kerja yang linear yang sesuai dengan hukum Lambert Beer (Warono & Syamsudin, 2013)

### **G. Penentuan Kapasitas Adsorpsi ( $Q_e$ ) dan Efisiensi Adsorpsi**

Kapasitas adsorpsi adalah salah satu parameter penting dari karbon aktif yang akan digunakan sebagai adsorben. Kapasitas adsorpsi menyatakan bahwa banyaknya adsorbat yang mampu terakumulasi pada permukaan adsorben (Asnawati, 2017). Dalam penelitian ini, diberikan perlakuan terhadap dosis dari karbon aktif dan konsentrasi metilen biru dengan beberapa variasi, dengan magsud untuk melihat berapa jumlah gram karbon aktif yang dapat menyerap minimal dan

maksimal dari konsentrasi metilen biru. Dosis karbon aktif divariasikan pada rentang 0,025 gram sampai 0,1 gram untuk menyerap zat warna metilen biru. Kemudian pada setiap dosis dilakukan proses adsorpsi terhadap larutan metilen biru pada konsentrasi 10 ppm selama 30 menit, hasil tersebut diuji menggunakan spektrofotometri Uv-Vis. Hasil perhitungan variasi dosis terhadap kapasitas adsorpsi ( $q_e$ ) dan efisiensi adsorpsi (%) dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Pengaruh Variasi Dosis Karbon Aktif Kulit Kopi Terhadap Kapasitas Adsorpsi (mg/g) dan efisiensi adsorpsi (%) pada metilen biru

Berdasarkan gambar 4.8. Semakin besar massa karbon aktif maka jumlah pori-pori dan luas permukaannya juga akan semakin besar sehingga dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi metilen biru. Hal tersebut terjadi karena jumlah

adsorben semakin banyak, semakin banyak jumlah adsorben maka akan bertambah pula sisi aktif adsorben. Proses adsorpsi berlangsung pada permukaan sel adsorben yang berinteraksi dengan molekul adsorbat, sehingga interaksi pasif dan relative cepat (Hidayati dkk., 2013). Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa semakin besar massa karbon maka kapasitas adsorpsinya semakin menurun yaitu pada dosis 0,025 gram  $q_e$  sebesar 7,57 mg/g terus mengalami penurunan hingga dosis 0,20 gram dengan nilai  $q_e$  sebesar 1,22 mg/g. Sedangkan untuk efisiensi adsorpsi mengalami kenaikan dengan tidak konstan hal ini dapat dilihat pada dosis 0,025 gram dengan nilai %EA 90,79% dan mengalami kenaikan pada dosis 0,5 gram dengan nilai %EA 95,66% dan mengalami penurunan kembali pada dosis 0,075 gram yaitu 95,53%. Dosis optimum diperoleh pada 0,18 gram dengan kapasitas adsorpsinya 1,33 gram dan efisiensi adsorpsi 96,43%. Pertimbangannya karena pada dosis tersebut penurunan kapasitas adsorpsi dan efisiensinya konstan dibandingkan dengan dosis lainnya, dengan dosis yang cenderung sedikit karbon aktif masih dapat menyerap zat warna metilen biru dengan tingkat efisiensi yang cenderung tinggi dan konstan.

Pada Saat peningkatan massa maka akan ada peningkatan terhadap persentase nilai efisiensi dan adanya penurunan kapasitas adsorpsi (Istighfarini dkk., 2017). Kapasitas adsorpsi merupakan daya tampung sisi aktif adsorben terhadap konsentrasi adsorbat. Jadi, semakin besar dosis dari adsorben maka kapasitas dari adsorpsi akan menurun hal ini dikarenakan sisi aktif dari adsorben sudah menyerap semua konsentrasi dari adsorbatnya sehingga terdapat sisi aktif yang kosong. Sedangkan efisiensi dari adsorpsinya akan meningkat hal ini

dikarenakan adsorben masih dapat untuk menyerap adsorbat. Pada penelitian lain mengatakan bahwa penyerapan metilen biru meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi adsorben. Hal ini dikarenakan pengaruh dari luas bidang kontak (luas bidang penjerapan) antara adsorben dan adsorbat menjadi lebih besar, sehingga kesempatan metilen biru yang hinggap di situs karbon aktif lebih banyak (Hardiyati dkk., 2022).

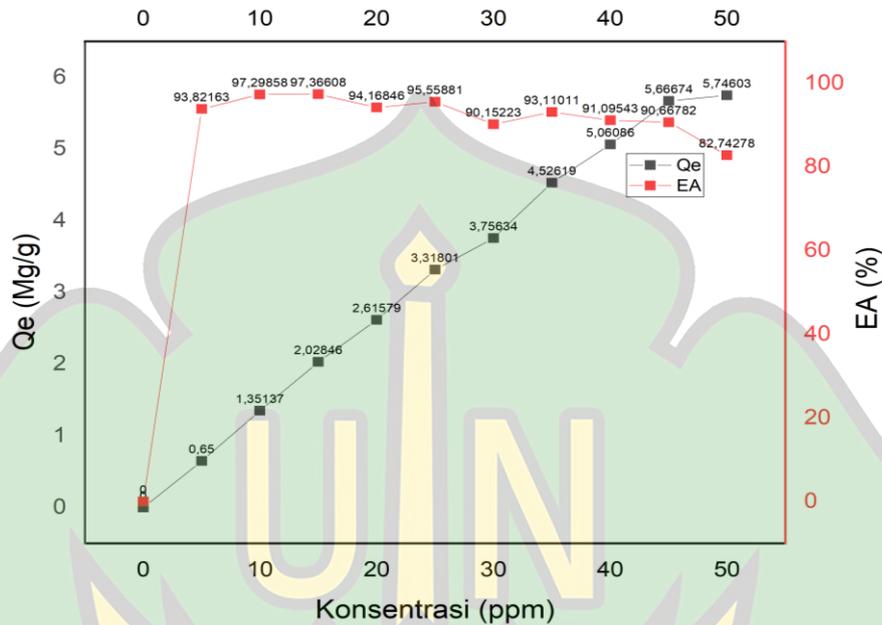


**Gambar 4.9** 10 Ppm Hasil Adsorpsi (Kiri) (Kanan) Filtrat Karbon Aktif Dengan Dosis 0,18 Terhadap Metilen Biru

Berdasarkan Gambar 4.9 diatas merupakan hasil adsorpsi karbon aktif kulit kopi terhadap zat warna metilen biru pada konsentrasi 10 ppm dengan dosis 0,18 gram (optimum). Terlihat perubahan pada sebelah kanan dimana filtrat hasil adsorpsi menjadi putih yang dari awal bewarna biru seperti pada sebelah kiri.

Setelah didapatkan dosis optimum, kemudian dilanjutkan pada proses variasi konsentrasi terhadap metilen biru yaitu pada rentang 5 ppm hingga 60 ppm, kemudian hasil dari adsorpsi akan disaring dan akan diukur filtratnya menggunakan

spektrofotometri Uv-Vis. Perhitungan kapasitas adsorpsi dan efisiensi dari adsorpsi karbon aktif terhadap variasi metilen biru dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Pengaruh Variasi Konsentrasi Metilen Biru Terhadap Kapasitas Adsorpsi (mg/g) Dan Efisiensi Adsorpsi (%) Karbon Aktif Kulit Kopi

Berdasarkan Gambar 4.10, menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi, maka akan semakin besar pula kapasitas dari adsorpsinya (mg/g) dari karbon aktif kulit kopi dengan efisiensi adsorpsi (%) yang konstan. Hal ini dapat dilihat pada konsentrasi 5 ppm dengan nilai  $q_e$  0,65 (mg/g) terus meningkat sampai konsentrasi 60 ppm dengan nilai  $q_e$  5,06 (mg/g). Oleh karena itu kapasitas adsorpsi maksimum terdapat pada konsentrasi metilen biru 60 ppm, hal ini dikarenakan bahwa karbon aktif dengan dosis 0,18 gram dapat menyerap konsentrasi hingga konsentrasi yang tinggi. Akan tetapi efisiensi adsorpsi dari karbon aktif justru menurun pada konsentrasi 20 ppm yaitu pada 97,36% menjadi 94,16% kemudian terjadi penurunan kembali pada 30 ppm yaitu pada 95,55% menjadi 90,15%, kemudian

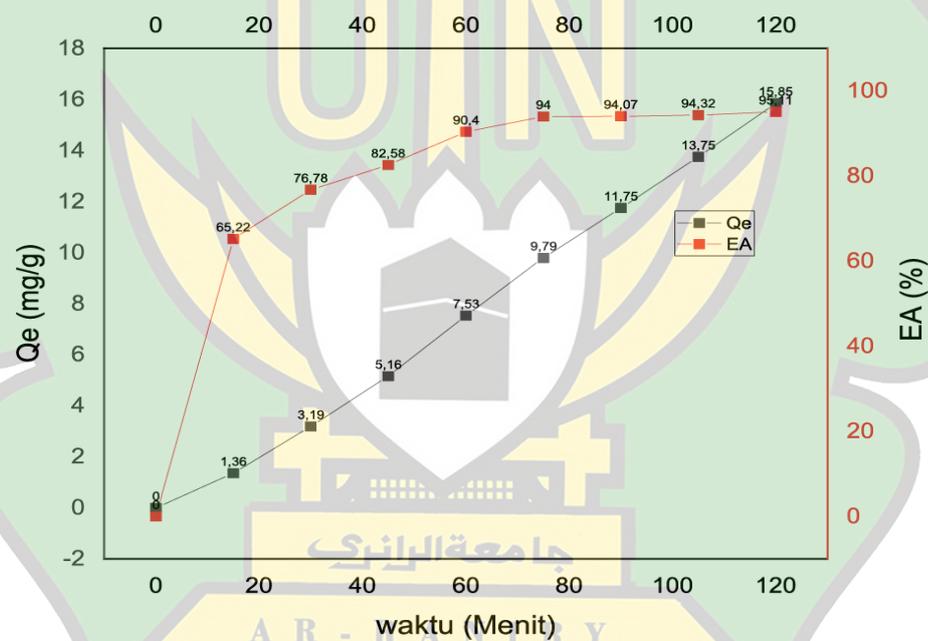
terjadi penurunan lagi pada 40 ppm yaitu pada 93,11% menjadi 91,09% dan terakhir terjadi penurunan pada 50 ppm yaitu pada 90,66% menjadi 82,74%. Hal ini dilihat dari segi linearitas, dimana kapasitas adsorpsi meningkat dari konsentrasi 5 ppm hingga 35 ppm, dan di konsentrasi 40 peningkatan  $q_e$  (mg/g) tidak konstan. Sedangkan efisiensi adsorpsi peningkatan konsentrasi membuat % efisiensinya juga meningkat dan mengalami penurunan di konsentrasi 45 ppm, artinya pada konsentrasi tersebut sisi aktif adsorben mengalami penurunan efektivitas penyerapan.

Penurunan efisiensi terjadi pada konsentrasi metilen biru 50 ppm disebabkan karena sisi aktif dari adsorben sudah mencapai titik jenuhnya artinya dimana adanya keterbatasan adsorben untuk menampung sehingga menyebabkan menurunnya efisiensi adsorben. Hal tersebut berdasarkan penelitian lain bahwa konsentrasi awal zat warna yang rendah, adsorben dapat mengadsorpsi sebagian kecil molekul zat warna, sebaliknya jika pada konsentrasi yang tinggi, maka adsorben tidak mampu untuk mengikat molekul zat warna, yang dimana biasa disebut penurunan dari kapasitas adsorben untuk menyerap zat warna (Hevira dkk., 2020).



**Gambar 4.11** 45 Ppm Menunjukkan Sebelah Kiri Merupakan Metilen Biru Sedangkan Sebelah Kanan Menunjukkan Filtrat Hasil Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Metilen Biru

Setelah mendapatkan dosis dan konsentrasi optimum, selanjutnya Penentuan waktu kontak dilakukan pada adsorpsi karbon aktif kulit kopi terhadap larutan metilen biru. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan waktu optimum yang di perlukan adsorben untuk dapat mengadsorpsi hingga batas maksimal. Waktu kontak kemudian akan di variasikan pada rentang 15 menit hingga 120 menit, kemudian hasil dari adsorpsi akan disaring dan kemudian filtratnya akan diukur menggunakan spektrofotometri Uv-Vis. Perhitungan kapasitas adsorpsi dan efesiensi adsorpsi karbon aktif terhadap waktu kontak, dapat di lihat pada gambar 4.12



**Gambar 4.12** Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi Dan Efesiensi Karbon Aktif Kulit Kopi Dalam Menyerap Metilen Biru

Berdasarkan gambar 4.15, dapat dilihat bahwa semakin lama waktu adsorpsi, maka semakin meningkat pula kapasitas dan efesiensi adsorpsi dari karbon aktif kulit kopi terhadap metilen biru. Peningkatan dimulai pada waktu 15 menit dengan kapasitas 1,3 dan efesiensi 65,22% sampai waktu optimum yaitu 120 menit dengan

kapasitas 15,85 dan efisiensi 95,11%. Pada waktu kontak 15 menit proses adsorpsi berlangsung cepat sampai ke waktu kontak 90 menit, akan tetapi adanya kenaikan yang tidak terlalu drastis terjadi pada 90 menit. Hal ini dikarenakan pada tahap awal, banyaknya permukaan dari adsorben yang tidak menangkap adsorbat, sehingga metilen biru dapat terserap pada permukaan adsorben dengan cepat. Akan tetapi dalam keadaan stabil situs aktif dari adsorben telah jenuh sehingga mengakibatkan adsorpsi berjalan lama dan menyebabkan adanya perlambatan kenaikan dari adsorpsinya dan efisiensinya (Surikumaran dkk., 2014).

Berdasarkan penelitian lain menyatakan bahwa waktu kesetimbangan adalah waktu terbaik yang dapat digunakan pada kapasitas adsorpsi maksimum pada saat adsorpsi, ketika adsorbat teradsorpsi menyeluruh pada permukaan karbon aktif maka akan menyebabkan konsistennya proses adsorpsi karena sisi aktif dari karbon aktif sudah dapat menyerap adsorbat. Hal ini dapat dikatakan sebagai peningkatan waktu kontak, sisi karbon aktif akan menurun dan akan menimbulkan penurunan laju adsorpsi dan akan mendekati kesetimbangan (Husin, Amir, 2021). Oleh karena itu, Penentuan waktu kontak optimum pada proses ini dapat di ambil pada waktu kontak 90 menit dengan kapasitas adsorpsi 11,75 dan efisiensi adsorpsinya 94,07%.

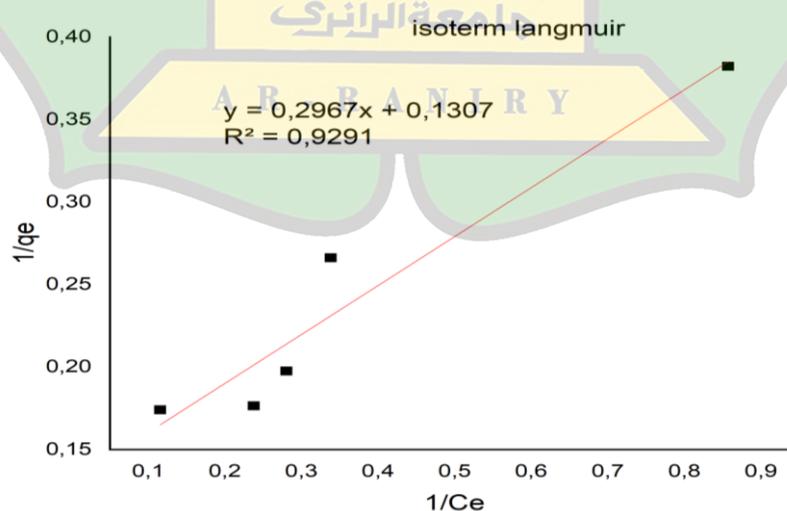


**Gambar 4.13** 45 Ppm 90 Menit Menunjukkan Sebelah Kiri Merupakan Metilen Biru Sedangkan Sebelah Kanan Menunjukkan Filtrat Hasil Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Metilen Biru

## H. Penentuan Model Isoterm

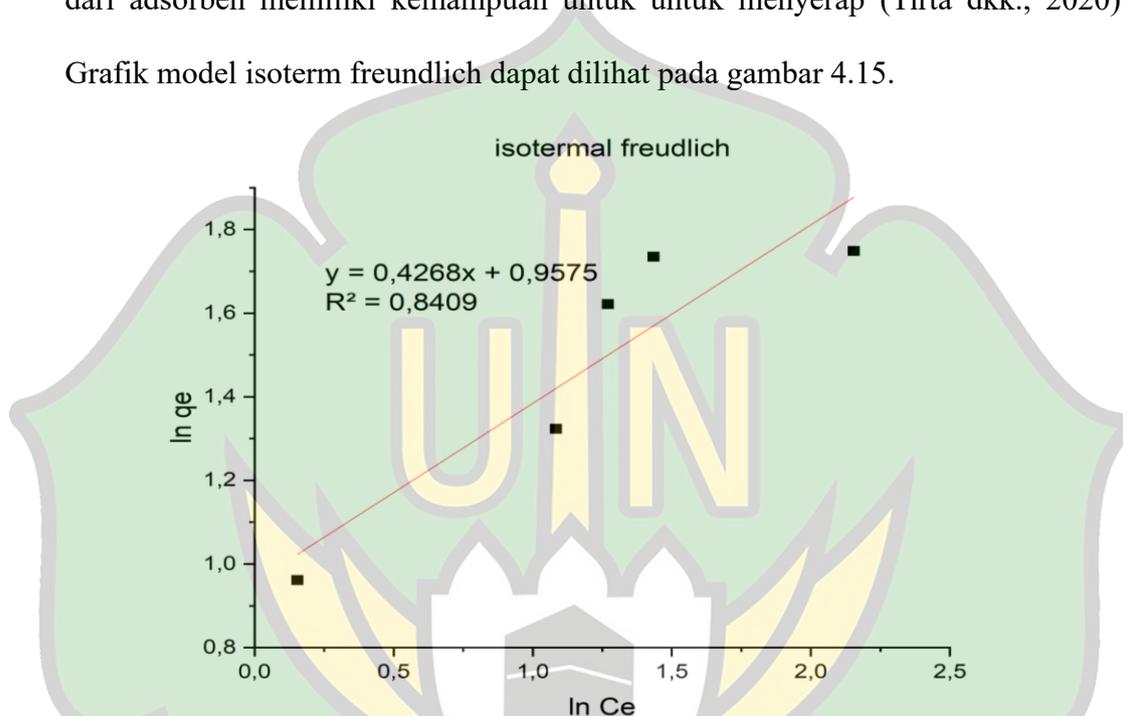
Penentuan model isoterm adsorpsi ini sangat penting, hal ini dikarenakan isoterm adsorpsi ini dapat menjelaskan bagaimana molekul adsorbat akan bertemu dengan permukaan adsorben dan akan mengalami keadaan seimbang. Pada penelitian ini dilakukan pengujian menggunakan 3 model isoterm dengan fungsi untuk melihat kesesuaian pada adsorpsi zat warna metilen biru dengan karbon aktif kulit kopi, Adapun model yang digunakan pada penelitian ini ada 3 macam model yaitu model Langmuir, model Freundlich, dan Temkin, kemudian akan di lihat nilai koefisien relasinya ( $R^2$ ) yang mendekati 1.

Langmuir dapat disebut sebagai kapasitas adsorpsi maksimal pada suatu lapisan (*monolayer*) yang terjadi pada sejumlah permukaan identik yang terbatas dan dapat dinyatakan dalam bentuk linier penentuan kinetika adsorpsi (Mayangsari & Astuti, 2021). Adsorpsi yang terjadi secara homogen dengan afinitas molekul akan terikat dalam jumlah yang sama untuk setiap lokasi dan tidak dapat berpindah-pindah (Nur, 2003). Grafik model isoterm Langmuir dapat dilihat pada gambar 4.14.



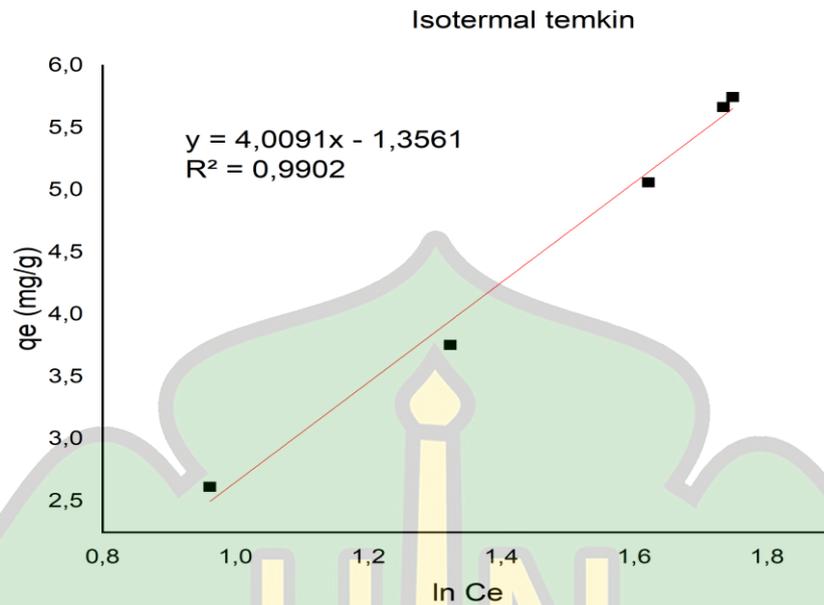
**Gambar 4.14** Model Isoterm Langmuir

Isoterm freundlich yang mengasumsikan terdapat di dua lapisan permukaan (*multilayer*) dan bersifat heterogen, dan dinyatakan dalam bentuk linier (Mayangsari & Astuti, 2021). Hal ini terjadi dikarenakan tidak semua permukaan dari adsorben memiliki kemampuan untuk untuk menyerap (Tirta dkk., 2020). Grafik model isoterm freundlich dapat dilihat pada gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Model Isoterm Freundlich

Isoterm temkin merupakan adsorpsi yang terjadi secara kimia isoterm temkin menggambarkan perilaku sistem adsorpsi pada permukaan yang ganda (*multilayer*) (Rohiman dkk., 2018). Isoterm temkin ini memiliki kemiripan dengan isoterm freundlich dimana kedua isoterm ini tidak memiliki hukum henry yang berlaku pada konsentrasi rendah dan kapasitas konsentrasi yang tinggi (Suryadi dkk., 2021). Grafik model isoterm temkin dapat dilihat pada gambar 4.16.



**Gambar 4.16** Model Isoterm Temkin

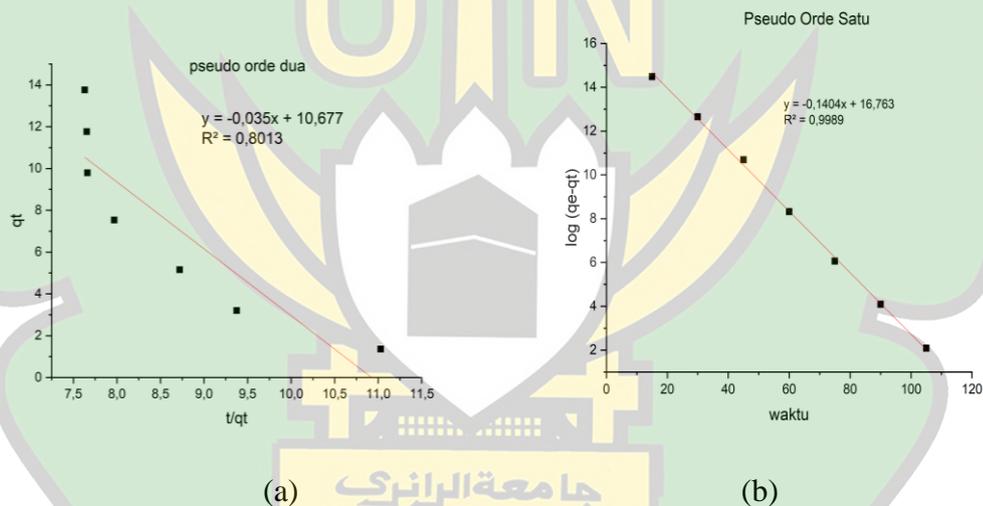
### I. Penentuan Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi bertujuan untuk mengetahui laju dari adsorpsi yang berlangsung pada adsorben terhadap adsorbat dan dipengaruhi oleh waktu (Haryanto dkk., 2019). Model kinetika adsorpsi juga diperlukan untuk menentukan cepat lambatnya proses penyerapan adsorbat dari larutan ke permukaan adsorben. Pengeruh waktu kontak terhadap kapasitas dari adsorpsi karbon aktif kulit kopi terhadap larutan metilen biru dapat di pakai untuk menentukan dan mempelajari kinetika adsorpsi. Penelitian ini digunakan model pseudo orde satu dan pseudo orde dua untuk menentukan dan mempelajari kinetika adsorpsi.

**Tabel 4.2** persamaan model kinetika reaksi adsorpsi

Model	Persamaan Linear	Plot Grafik
Pseudo orde satu	$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{log } q_e - \frac{K_1}{2,303}t$	$\text{Log}(q_e - q_t)$ vs $t$
Pseudo orde dua	$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{K_2 q_e^2}$	$\frac{t}{q_t}$ vs $t$

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa adanya persamaan linear pada kedua model kinetika adsorpsi. Nilai  $K_1$  dan  $K_2$  merupakan konstanta kecepatan adsorpsi pseudo orde satu dan pseudo orde dua. Variabel  $q_e$  (mg/g) dan  $q_t$  (mg/g) merupakan banyaknya adsorbat yang dapat teradsorpsi pada keadaan seimbang dan pada waktu yang seimbang (Basuki dkk., 2022). Model kinetika Pseudo orde satu dapat di peroleh dengan membuat kurva regresi linear antara  $\text{Log}(q_e - q_t)$  berbanding dengan  $t$ , model kinetika orde dua dapat diperoleh dengan membuat kurva regresi linear antara  $t/q_t$  berbanding dengan waktu yang dapat dilihat pada gambar 4.20 dan gambar 4.17.

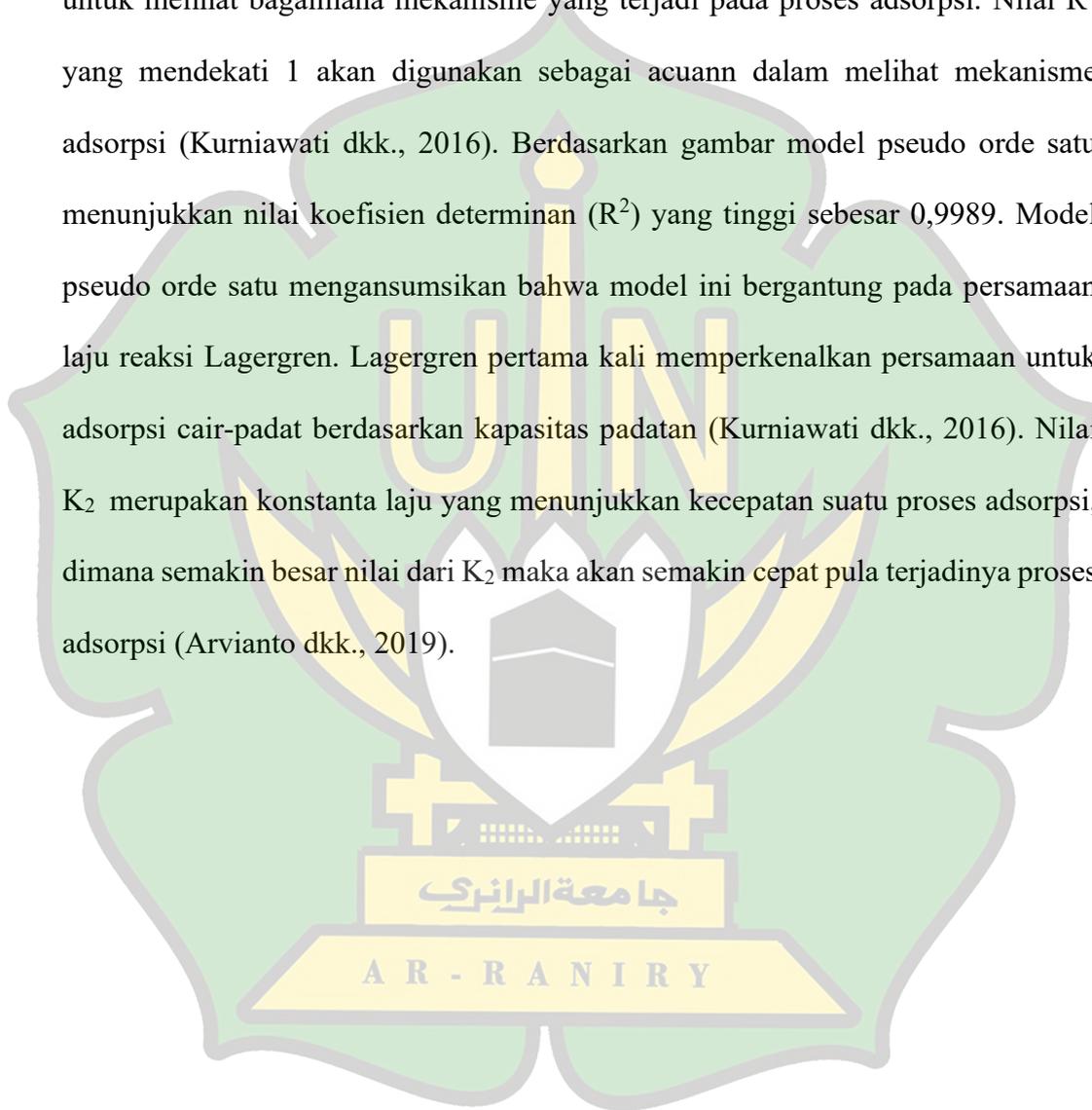


**Gambar 4.17** (a) Pseudo Orde Satu, (b) Pseudo Orde Dua

Model pseudo orde satu pada gambar menunjukkan nilai regresi linear  $y = -0,1404x + 16,763$  dan koefien determinan ( $R^2$ ) = 0,9989, berdasarkan tabel dapat di hitung nilai  $q_e$  (mg/g) sebagai jumlah adsorbat yang terserap dalam keadaan setimbang dan  $K_1$  konstanta kecepatan dari adsorpsi. Hasil perhitungan menunjukkan nilai  $q_e$  (mg/g) sebesar (belum dapat hasil). Model pseudo orde dua

pada gambar menunjukkan nilai regresi linear  $y = -0.035x + 10,667$  dengan nilai koefisien determinan ( $R^2$ ) yaitu 0,8013 (Kustomo & Santosa, 2019).

Koefisien determinan ( $R^2$ ) merupakan parameter yang perlu dipertimbangkan untuk melihat bagaimana mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi. Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 akan digunakan sebagai acuan dalam melihat mekanisme adsorpsi (Kurniawati dkk., 2016). Berdasarkan gambar model pseudo orde satu menunjukkan nilai koefisien determinan ( $R^2$ ) yang tinggi sebesar 0,9989. Model pseudo orde satu mengasumsikan bahwa model ini bergantung pada persamaan laju reaksi Lagergren. Lagergren pertama kali memperkenalkan persamaan untuk adsorpsi cair-padat berdasarkan kapasitas padatan (Kurniawati dkk., 2016). Nilai  $K_2$  merupakan konstanta laju yang menunjukkan kecepatan suatu proses adsorpsi, dimana semakin besar nilai dari  $K_2$  maka akan semakin cepat pula terjadinya proses adsorpsi (Arvianto dkk., 2019).



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil telah diperoleh pada penelitian penggunaan kulit kopi arabika (*Coffea Arabica*) sebagai karbon aktif untuk adsorpsi zat warna metilen biru, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemanfaatan limbah kulit kopi menjadi karbon aktif dapat dilakukan dengan melakukan proses karbosisasi menggunakan alat furnace pada suhu 450 °C selama 4 jam kemudian akan dilanjutkan dengan proses aktivasi menggunakan HCl 1 M, kemudian akan dinetralkan dengan menggunakan aquadest hingga pH 6, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 4 jam.
2. Daya serap karbon aktif kulit kopi terhadap zat warna metilen biru dilihat menggunakan beberapa parameter diantaranya pengaruh dosis, konsentrasi dan waktu kontak. Dosis optimum pada karbon aktif sebesar 0,18 gram dapat menyerap larutan metilen biru dengan kapasitas adsorpsi (qe) 1,33 mg/g dan efisiensi adsorpsi (EA) 96,43%, konsentrasi optimum adalah 45 ppm dengan kapasitas adsorpsi (qe) 5,66 mg/g dan efisiensi adsorpsi (EA) 90,66 %. Waktu optimum adalah 90 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi (qe) 11,75 mg/g dan efisiensi adsorpsi (EA) 94,07%.

## B. Saran

Pada proses pembuatan karbon suhu optimum dari kulit kopi ini tergolong rendah yaitu  $450^{\circ}\text{C}$  sehingga masih terdapat zat organik yang tidak habis teruap pada karbon kulit kopi yang berupa lignin. Hal ini dapat dibuktikan pada proses sokletasi yang dimana aseton yang tidak bewarna setelah dilakukan proses sokletasi menjadi warna kuning yang diidentifikasi sebagai senyawa lignin dari sisa karbonisasi. Oleh karena itu, karbonisasi kulit kopi ini disarankan menggunakan suhu tinggi seperti  $400^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$ .



## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R., Zakir, M., & Fauziah, S. (2020). Pembuatan Dan Modifikasi Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Cocus Nucifera L.*) Sebagai Adsorben Metilen Biru (Preparation And Modification Of Activated Carbon From Palm Oil (*Cocus Nucifera L.*) As Adsorbent Of Blue Methylene). *Indo. J. Pure App. Chem*, 3(2), 1–10.
- Aji Pambudi, Moh. Farid, dan H. N. (2017). Analisis Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik Its*, 6(2).
- Alfi, R., Lubis, F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology State University of Medan*, 03(2), 67–73.
- Anggriawan, R. R., Alvira, F. H., & Edahwati, L. (2021). Reaction Kinetics of Ammonium Removal from Cow Urine by Struvite Formation Using a Baffle Column Reactor. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 7(2), 99. <https://doi.org/10.26555/chemica.v7i2.18209>
- Anom Irawan. (2019). Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukurandalam Kegiatan Penelitian Dan Pengujian. *Indonesian Journal Of Laboratory*, 1(2), 1624.
- Arvianto, R. I., Mauludi, K., Damayanti, A. K., & Pradipta, M. F. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Emas Menggunakan Kulit Mangga (*Mangifera indica*) Termodifikasi Asam Sulfat. *Chimica et Natura Acta*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.24198/cna.v7.n1.19191>
- Askaputra, A., & Yuliansyah, A. T. (2020). Pengaruh Variasi Suhu Hidrotermal dan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kemampuan Hydrochar sebagai Adsorben pada Proses Adsorpsi Limbah Cair Metilen Biru. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 160–168. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.57394>
- Asnawati, A. (2017). Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B dalam Sistem Dinamis. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1), 23–29. <https://doi.org/10.20473/jkr.v2i1.3553>
- Bambang Marhaenanto, Deddy Wirawan Soedibyo, M. F. (2015). Penentuan Lama Sangrai Kopi Berdasarkan Variasi Derajatsangrai Menggunakan Model Warna Rgb Pada Pengolahancitra Digital (Digital Image Processing). *Jurnal Agroteknologi*, 09(02).
- Basuki, K. T., Fatuzzahroh, M., Ariyanti, D., Saputra, A., Babarsari, J., Atk, P., Jalan, Y., & Prodjodikoro, W. (2022). Studi Kinetika Adsorpsi Ion Stronsium

- Menggunakan Zeolit Terpillar Titanium Dioksida. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1(1), 22–26.
- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi Dachriyanus*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Delviana Dwi Jaya, M. K. (2020). Pembuatan Karbon Aktif melalui Karbonisasi Batang Kelapa Sawit. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 9(1).
- Delviana Dwi Jaya, & Miftahul Khai. (2020). Pembuatan Karbon Aktif melalui Karbonisasi Batang Kelapa Sawit. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 9(1), 2339–1197.
- Dewi, R., Dan, A., & Nofriadi, I. (2020a). Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. Dalam *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* (Vol. 9, Nomor 2). [www.ft.unimal.ac.id/jurnal\\_teknik\\_kimia](http://www.ft.unimal.ac.id/jurnal_teknik_kimia)
- Dewi, R., Dan, A., & Nofriadi, I. (2020b). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Jurnal Teknologi Kimia Unimal Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. Dalam *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* (Vol. 9, Nomor 2).
- Effendi Arsad, S. H. (2010). TEKNOLOGI PENGOLAHAN DAN PEMANFAATAN KARBON AKTIF UNTUK INDUSTRI. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 02(02), 43–51.
- Gilar S. Pambayun, Remigius Y.E. Yulianto, M. Rachimoellah, E. M. M. P. (2013). Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator  $ZnCl_2$  Dan  $Na_2CO_3$  Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik Pomits*, 02(1).
- Gina Sania, Erman Taer, dan H. A. (2022). Pemanfaatan karbon aktif dari ampas biji kopi robusta yang diaktivasi menggunakan kalium hidroksida (KOH) sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor. *J. Aceh Phys. Soc*, 11(1), 24–32.
- Hardiyati, R., Sylvia, N., & Muhammad. (2022). Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu. *Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh*.
- Haryanto, B., Sinaga, W. K., & Saragih, F. T. (2019). Kajian Model Interaksi pada Adsorpsi Logam Berat Kadmium ( $Cd^{2+}$ ) dengan Menggunakan Adsorben dari Pasir Hitam Study of Heavy Metals Cadmium Adsorption Capacity ( $Cd^{2+}$ ) by Using Adsorbents of Black Sand. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 08(2), 79–84. <https://talenta.usu.ac.id/jtk>
- Hevira, L., Rahmi, A., Zein, R., Zilfa, Z., & Rahmayeni, R. (2020). The fast and of low-cost-adsorbent to the removal of cationic and anionic dye using chicken eggshell

- with its membrane. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 10(3), 294–301.  
<https://doi.org/10.13171/mjc02003261271lh>
- Hevira, L., Zilfa, Rahmayeni, Ighalo, J. O., & Zein, R. (2020). Biosorption of indigo carmine from aqueous solution by *Terminalia Catappa* shell. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5).  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104290>
- Hidayati, B., Sunarno, & Yenti, S. R. (2013). Studi Kinetika Adsorpsi Logam Cu<sup>2+</sup> dengan Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Teraktifasi. *Jurnal Laboratorium Dasar-Dasar Proses dan Operasi Pabrik*, 1–7.
- Husin, A., & Hasibuan, A. (2020). TEKNIK KIMIA-USU Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian Study of Phosphoric Acid (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) Concentration Effect and Carbon Soaking Time on Activated Carbon Characteristics from Durian Shell. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 09(2), 80–86.
- Husin, Amir, P. D. R. S. (2021). Jurnal Teknik Kimia USU Studi Adsorpsi Furfural Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(1), 19–24.
- Ida Ayu Gede Widihati, Ni Putu Diantariani, dan Y. F. N. (2011). Fotodegradasi Metilen Biru Dengan Sinar Uv Dan Katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Kimia*, 5(1).
- Ikrima, H., Herman, S., Jurusan Teknik Kimia, M., Jurusan Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia, D., Teknik, F., & Riau Kampus Binawidya Jl Subrantas Km, U. H. (2020). Isoterm, Termodinamika Dan Kinetika Adsorpsi Logam Cu Menggunakan Adsorben Serbuk Kulit Udang. *Jom FTEKNIK*, 7.
- Isabel Triesty dan Mahfud. (2017). Ekstraksi Minyak Atsiri dari Gaharu (*Aquilaria Malaccensis*) dengan Menggunakan Metode Microwave Hydrodistillation dan Soxhlet Extraction. *JURNAL TEKNIK ITS*, 06(2).
- Jaya, D. D., & Khair, M. (2020). Pembuatan Karbon Aktif melalui Karbonisasi Batang Kelapa Sawit. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 9(1), 2339–1197.
- Kurniawati, P., Wiyantoko, B., Kurniawan, A., & Purbaningias, T. E. (2016). Kinetic study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar Ratio 2:1. *EKSAKTA*, 13.
- Kustomo, & Santosa, S. J. (2019). Studi Kinetika dan Adsorpsi Zat Warna Kation (Metilen Biru) dan Anion (Metil Orange) pada Magnetit Terlapis Asam Humat. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(2), 64–69.  
<https://doi.org/10.36873/jjms.v1i2.212>

- Legiso, Heni Juniar, U. M. S. (2019). Perbandingan Efektivitas Karbon Aktif Sekam Padi Dan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Air Sungai Enim. *TK-001*.
- Lestari, D., & Nasra, E. (2022). Preparasi Karbon Aktif Kulit Durian dengan Aktivator NaOH serta Penyerapannya terhadap Logam Berat Pb(II). *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, 11(2). <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Lia Indah Syafira. (2012). Pembuatan Pupuk Bokashi Dari Limbah Organik Dan Analisis Kandungan Unsur Nitrogen, Karbon, Fosfor Dan Kalium. *Skripsi*.
- Masrullita, M., Wijaya, Y. A., Sylvia, N., & Safriwardy, F. (2021). Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) Terhadap Adsorpsi Ion Logam Fe<sup>2+</sup> Dengan Aktivator Naoh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(2), 83–91. <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i2.5550>
- Mayangsari, N. E., & Astuti, U. P. (2021a). Model Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cu Menggunakan Selulosa Daun Nanas. *Jurnal Chemurgy*, 5(1), 15–21. <https://doi.org/10.30872/cmg.v5i1.5477>
- Mayangsari, N. E., & Astuti, U. P. (2021b). Model Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cu Menggunakan Selulosa Daun Nanas. *Jurnal Chemurgy*, 5(1), 15–21. <https://doi.org/10.30872/cmg.v5i1.5477>
- Meila Anggriani, U., Hasan, A., Purnamasari, I., Teknik Kimia, J., Sriwijaya, N., Srijaya, J., Bukit, N., & Palembang, B. (2021). Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb) Kinetic Adsorption Of Activated Carbon In Decreasing Concentrations Of Copper (Cu) And Lead (Pb) Metals. *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- mody lempang. (2014). 5041-20232-1-SM. *Info Teknis EBONI*, 11(2).
- M.T Simbiring, T. S. S. (2010). *Pembuatan Arang Aktif Dari Kulit Biji Kopi Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna*.
- Mukhlis, Itnawita, ayu Chandra Kartika, F. F. C. (2021). Evaluasi Kema,puam HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Sebagai Aktivator Adsorben Bubuk Kulit Batang Sagun(Metroxylon Sagu). *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 11(2).
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(1), 113–126. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i1.53297>
- 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).

- Nur, A. (2003). Modifikasi Model Kompetitif Langmuir Untuk Kesetimbangan Adsorpsi Cd Dan Zn Sistem Biner Dengan Biomassa *Aspergillus Niger*. *ekuilibrium*, 2(1), 33–39.
- Nurhidayati, I., Mellisani, B., Puspita, F., & Putri, A. R. (2022). Penentuan Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Ion Besi oleh Sedimen Sebagai Adsorben. *WARTA AKAB*, 46(1), 75–83.
- Nurzihan, A., Ulfah, R., Hrp, N., Siregar, H., & Nasution, H. (2019). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Bentonit Termodifikasi Ethylene Diamine Tetra Aceticacid (EDTA). *Jurnal UMRI*, 1.
- Oko, S., Kurniawan, A., Sthefani Bara Palulun Jurusan Teknik Kimia, E., Negeri Samarinda Jl Cipto Mangungkusumo Kampus Gunung Lipan Samarinda, P., & Timur, K. (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. <https://doi.org/10.14710/metana.v17i1.37702>
- Prasetyo, A., Sudibandriyo, M., & Grup Energi Berkelanjutan, R. (2014). *Produksi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Kopi Menggunakan Aktivasi Kimia Kalium Karbonat*.
- Purwitasari, D. G., Tussania, R., & Fathoni, R. (2022). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) Pada Kadmium Sulfat (Cdso<sub>4</sub>) Menggunakan Batang Pohon Pisang Sebagai Adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 6(1), 131–136. <https://doi.org/10.30872/cmng.v6i1.7905>
- Reza Huseini, M., Iryawan, D., & Fitriyano, G. (2018). Studi Isoterm Terhadap Pengembangan Adsorben Dari Hidrotermalisasi Limbah Lumpur Pulogadung Dengan Sistem Batch. *Submission II*.
- Risna Thamrin. (2015). *Pemanfaatan Kulit Kopi Arabika (Coffea Arabica L) Sebagai Mikroorganisme Lokal (Mol)*.
- Rohiman, I. H., Hadisaputra, S., & Asnawati, D. (2018). *Kajian Teoritis Dan Eksperimen Efisiensi Senyawa Pinostrobin Sebagai Inhibitor Korosi*.
- sandra ayu, apriliyani, yohanes martono, Mutmainah, L. K. (2018). a044ee31afabde57fe39ce09c5c80dd0. *Jurnal Kimia Sans dan Aplikasi*, 21(4).
- Sari Dewi, D., & Zumala Dewi, Z. (t.t.). Pengaruh Waktu Kontak Dan Ph Terhadap Ion Cr (Vi) Dalam Limbah Tekstil Menggunakan Bioadsorben Daun Jambu Biji Dan Daun Teh. *Jurnal Ilmiah “ TEKNIKA “*, 5(2).
- Setiati, R., Wahyuningrum, D., Kasmungin, S., Jurusan, ), & Perminyakan, T. (2016). Analisa Spektrum Infra Red Pada Proses Sintesa Lignin Ampas Tebu Menjadi Surfaktan Lignosulfonat. *Seminar Nasional Cendekiawan*.

- Siregar, Y. D. I., Heryanto, R., Lela, N., & Lestari, T. H. (2015). Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan Menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika. *Jurnal Kimia Valensi*, 103–116. <https://doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3146>
- Sita Astrian Ridhayanti, R. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Durian Sebagai Adsorben Limbah Industri Tahu Di Daerah Sepanjang, Sidoarjo Utilization Of Active Carbon From Durian Leather Waste As The Adsorben Of Industrial Waste Knows In Sepanjang Area, Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 4(1).
- Sri Ayu Emy Istighfarini, Syarfi Daud, E. H. (2017). Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Sabut Kelapa Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe Pada Air Gambut. *Jom FTEKNIK*, 4(1).
- Sri Edi Purnomo. (2010). Pembuatan Arang Aktif Dari Kulit Biji Kopi Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue (Kation) Dan Naphthol Yellow (Anion). *Skripsi*.
- Sri Wahyuni, C. D. A. A. (2013). Estimasi Cadangan Karbon Di Atas Permukaan Tanah Dan Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Di Hutan Bukit Tangah Pulau Area Produksi Pt. Kencana Sawit Indonesia (Ksi), Solok Selatan. *Jurnal Biologika*, 2(1).
- Suharman, A., & Vinsiah, R. (2015). Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kulit Buah Karet (*Hevea brasilliensis*). *Prosiding SEMIRATA 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat*, 294–303.
- Surikumar, H., Mohamad, S., & Sari, N. M. (2014). Molecular imprinted polymer of methacrylic acid functionalised  $\beta$ -Cyclodextrin for selective removal of 2,4-dichlorophenol. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(4), 6111–6136. <https://doi.org/10.3390/ijms15046111>
- Suryadi Ismadji, Felycia Edi Soetaredjo, Shella Permatasar iSantoso, Jindrayani Nyoo Putro, Maria Yuliana, Wenny Irawaty, Sandy Budi Hartono, & Valentino Bervia Lunardi. (2021). *Adsorpsi Pada Fase Cair Kesetimbangan, Kinetika, Dan Termodinamika*. <http://www.ukwms.ac.id/>
- Syamsul, E. S., Anugerah, O., Supriningrum, R., & Samarinda, S. (2020). Penetapan Rendemen Ekstrak Daun Jambu Mawar (*Syzygium jambos* L. Alston) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Etanol Dengan Metode Maserasi. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 2(3).
- Tandigau, S., Nafie, L., & Budi, P. (t.t.). *Biosorpsi Ion Ni(Ii) Oleh Kulit Buah Kopi Arabika (Coffea arabica)*.
- Tirta Suci Dhian Kasih, M. Taufik, & Miftahul Khair. (2020). Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and

optimization using response surface methodology. *Periodic*, 9(2).  
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.10.001>

Tiwari, D., Bhunia, H., & Bajpai, P. K. (2018). Adsorption and thermodynamic studies of pure and binary CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> gas components on nitrogen enriched nanostructured carbon adsorbents. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 125, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2018.06.009>

Warono, D., & Syamsudin. (2013). Unjuk Kerja Spektrofotometer Untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen. *Jurnal Konversi*, 02(02).

Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 4(2), 175. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.6119>

Zaya Aisyahlika, S., Lutfi Firdaus, M., & Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP Universitas Bengkulu, P. (2018). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera Odollam) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 Dan Reactive Blue-198. *Alotrop, Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 2(2), 148–155.

Zulnazri, Almia Permata Putri, Rozanna Dewi, Syamsul Bahri, S. (2022). Karakterisasi Glukosa sebagai Bahan Baku Bioetanol yang Diproduksi dari  $\alpha$ -Selulosa Berbasis Limbah Kulit Kopi Arabika. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(1), 102–111.



## Lampiran 1

**SURAT KEPUTUSAN DEKAN FTK UIN AR-RANIRY BANDA ACEH**  
 Nomor: B-5648/Un.08/FTK/Kp.07.6/05/2023

**TENTANG:**  
**PENGGAKATAN PEMBIMBING SKRIPSI MAHASISWA FAKULTAS TARBİYAH 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 05 April 2023.

**MEMUTUSKAN**

Menetapkan :  
 PERTAMA : Menunjuk Saudara:  
 1. Adean Mayasri, M.Sc sebagai Pembimbing Pertama  
 2. Muhammad Reza, M.Si sebagai Pembimbing Kedua

Untuk membimbing Skripsi:  
 Nama : Rizky Jumatul Fajri  
 NIM : 190208005  
 Prodi : Pendidikan Kimia  
 Judul Skripsi : Pemanfatan Limbah Kulit Kopi (Coffea Arabica) Menjadi Karbon Aktif Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru

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 sampai akhir semester Genap Tahun Akademik 2022/2023;  
 KEEMPAT : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam surat keputusan ini.

Ditetapkan di : Banda Aceh  
 Pada Tanggal : 05 Mei 2023  
 An. Rektor



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



**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-5342/Un.08/FTK.1/TL.00/04/2023  
 Lamp : -  
 Hal : **Penelitian Ilmiah Mahasiswa**

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

Nama/NIM : **RIZKY JUMATUL FAJRI / 190208005**  
 Semester/Jurusan : VIII / Pendidikan Kimia  
 Alamat sekarang : Jl. Teuku Adee Utama, Lr. Pribadi, Gampong doy, ie masen Kayee adang, Syiah Kuala, Banda aceh

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 **Ketua Seminar Proposal:PEMANFAATAN LIMBAH KULIT KOPI (coffea arabica)SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

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

Banda Aceh, 10 April 2023  
 an. Dekan  
 Wakil Dekan Bidang Akademik dan  
 Kelembagaan,



Berlaku sampai : 15 Mei 2023

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

*Lampiran 3*

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

---

**SURAT KETERANGAN**  
Nomor: 503 /Un.08/PKM/PP.00.9/3/2024

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

Nama : Rizky Jumatul Fajri  
NIM : 190208005  
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 *“Pemanfaatan limbah kulit kopi arabika (Coffea Arabica) menjadi karbon aktif sebagai adsorben zat warna metilen biru”* yang dilaksanakan pada Tanggal 14 Juni s/d 18 Juli 2023.

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

Banda Aceh, 18 Maret 2024  
Ketua Program Studi Pendidikan Kimia

  
Mujakir

## Lampiran 4



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 23111 Telp 0651-51977 pes 4326

---

**SURAT IZIN PEMAKAIAN LABORATORIUM**

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 : Rizky Jumatul Fajri/190208005 (No. HP: 0813-1357-1683)

2. Pembimbing : Adean Mayasri, M.Sc

3. Judul Penelitian : Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi arabica (Coffea Arabica)  
Menjadi Karbon aktif sebagai Absorben Zat Warna Metilen Biru

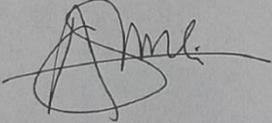
Tanggal Mulai	13 Juni 2023	14 Juni 2023
Tanggal Selesai	13 Juli 2023	27 Juli 2023

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

Darussalam, 12 juni 2023

Menyetujui,

Kepala Laboratorium Sumber Daya dan Energi



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

Pembimbing Penelitian,



**Adean Mayasri, M.Sc**  
NIP. 199203122018012002

Tembusan:

1. Ybs untuk dilaksanakan
2. Arsip Laboratorium

## Lampiran 5







**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

Nama : Rizky Jumatul Fajri

Nim : 190208005

Fakultas/Jurusan : Tarbiyah dan Keguruan/ Pendidikan Kimia

Tempat/Tanggal Lahir : Takengon/11 Mei 2001

Alamat : Desa Keramat mupakat, kecamatan bebesen, Kab. Aceh Tengah

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Agama : Islam

Pekerjaan : Mahasiswa

E-mail : [rizky.jumatul.fajri01@gmail.com](mailto:rizky.jumatul.fajri01@gmail.com)

**Riwayat Pendidikan**

SD : SD Negeri 8 Bebesen

SMP : MTS Negeri 1 Takengon

SMA : SMA Negeri 4 Takengon

Perguruan Tinggi : UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Banda Aceh, 22 Desember 2023  
Penulis

Rizky Jumatul Fajri